



MODIFICACIÓN DE  
**LICENCIA AMBIENTAL** DEL  
PROYECTO DE MINERÍA DE ORO  
A CIELO ABIERTO GRAMALOTE



## TABLA DE CONTENIDO

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE.....		1
0	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
0.1	SINTESIS DEL PROYECTO .....	1
0.2	FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....	6
0.3	LOCALIZACION DEL PROYECTO.....	6
0.4	AREA DE INFLUENCIA.....	7
0.5	CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA.....	13
0.5.1	GEOLOGÍA .....	13
0.5.2	GEOMORFOLOGÍA .....	16
0.5.3	PAISAJE.....	19
0.5.4	SUELOS.....	21
0.5.5	HIDROLOGÍA.....	25
0.5.6	HIDROGEOLOGÍA .....	31
0.5.7	GEOTECNIA .....	37
0.5.8	ATMOSFERA .....	39
0.5.9	ECOSISTEMAS TERRESTRE .....	42
0.5.10	ECOSISTEMAS ACUATICOS .....	45
0.5.11	ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS, SENSIBLES Y/O ÁREAS PROTEGIDAS .....	45
0.5.12	MEDIO SOCIOECONÓMICO .....	45
0.5.13	SERVICIOS ECOSISTEMICOS .....	48
0.6	ZONIFICACIÓN AMBIENTAL.....	50
0.7	DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES .....	52
0.8	EVALUACIÓ AMBIENTAL .....	53
0.8.1	Evaluación sin proyecto.....	54
0.8.2	Evaluación con proyecto.....	57
0.8.3	Evaluación económica ambiental .....	60
0.9	ZONIFICACIÓN DE MANEJO AMBIENTAL .....	66

0.10	PLANES Y PROGRAMAS .....	69
0.10.1	Programas de manejo ambiental .....	69
0.10.2	Plan de seguimiento y monitoreo .....	75
0.10.3	Plan de gestión del riesgo .....	76
0.10.4	Plan de cierre .....	77
0.11	OTRO PLANES Y PROGRAMAS.....	78
0.11.1	Plan de inversión del 1%. .....	78
0.11.2	Plan de compensación por pérdida de la biodiversidad .....	79
0.12	COSTO TOTAL ESTIMADO DEL PROYECTO .....	80
0.12.1	Costos de capital .....	80
0.12.2	Costos operacionales .....	80
0.13	COSTO TOTAL APROXIMADA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL pma	81
0.14	CRONOGRAMA GENERAL ESTIMADO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	81
0.15	CRONOGRAMA GENERAL ESTIMADO DE EJECUCIÓN DEL pma CONCORDANTE CON LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	82
0.16	ACTIVIDADES DE LA FASE DE DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO	84

## LISTA DE TABLAS

Tabla 0.1	Resumen de las <b>principales modificaciones</b> con relación al proyecto licenciado .....	3
Tabla 0.2	Características de los SSEE del área de influencia del proyecto.....	49
Tabla 0.3	Porcentajes de ocupación de sensibilidad ambiental final en el área de influencia del proyecto .....	51
Tabla 0.4	Demanda de los recursos .....	53
Tabla 0.5	Síntesis de interacciones por medio en el escenario sin proyecto.....	54
Tabla 0.6	Interacciones en la calificación de impactos sin proyecto.....	54
Tabla 0.7	Síntesis de interacciones por medio en el escenario sin proyecto.....	57
Tabla 0.8	Interacciones en la calificación de impactos con proyecto.....	57
Tabla 0.9	Resumen jerarquización de impactos .....	61
Tabla 0.10	Análisis costo beneficio ambiental.....	65
Tabla 0.11	Sensibilidad de los indicadores .....	66
Tabla 0.12	Criterios considerados para la zonificación de manejo ambiental.....	67
Tabla 0.13	Áreas de zonificación de manejo ambiental en el área de influencia del proyecto y en el área del proyecto (obras nuevas, obras objeto de modificación del proyecto y obras no objeto de modificación).....	68
Tabla 0.14	Listado de programas de manejo .....	69
Tabla 0.15	Matriz de interacciones de impactos homologados y planes de manejo ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote .....	71
Tabla 0.16	Programas de seguimiento y monitoreo .....	75
Tabla 0.17	Valor estimado de la Inversión del 1% para la Modificación de la Licencia Ambiental.....	79
Tabla 0.18	Costos de capital asociados a las obras objeto de modificación .....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 0.1 Obras Licenciada vs Obras de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro Cielo Abierto Gramalote .....	3
Figura 0.2 Localización político-administrativa del proyecto .....	7
Figura 0.3 Área de influencia de análisis para el medio abiótico .....	9
Figura 0.4 Área de influencia de análisis para el medio biótico .....	10
Figura 0.5 Área de influencia de análisis medio socioeconómico.....	12
Figura 0.6 Área de influencia definitiva .....	13
Figura 0.7 Zonificación ambiental final.....	52
Figura 0.8 Jerarquización de calificación de impactos sin proyecto .....	55
Figura 0.9 Jerarquización de calificación de impactos con proyecto .....	59
Figura 0.10 Zonificación de manejo del proyecto Gramalote.....	68
Figura 0.11 Cronograma general del Proyecto Gramalote .....	82
Figura 0.12 Cronograma del PMA.....	83
Figura 0.13 Visión postcierre del estado final del territorio .....	85

## **MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE.**

### **0 RESUMEN EJECUTIVO**

#### **0.1 SINTESIS DEL PROYECTO**

El Proyecto minero de oro a cielo abierto Gramalote, es un proyecto de interés nacional que se encuentra ubicado en el nordeste del Departamento de Antioquia.

El Proyecto cuenta con Licencia Ambiental Global otorgada por la autoridad Nacional de licencias Ambientales (ANLA), mediante las Resoluciones 1514 del 25 de noviembre de 2015 y 0309 del 29 de marzo de 2016, la cual se tramita bajo el expediente LAV0018-00-2015, la cual ha tenido modificaciones y ajustes posteriores, como:

- En el 2017 se presenta pronunciamiento ANLA sobre exploración avanzada como cambio menor (Of. 2017066535).
- Del 2018 al 2019: se realiza solicitud modificación (VPD0098-00-2018), trámite iniciado (Auto 2014), información reunida (Auto 02414), Resolución 00782 modifica licencia para PTO aprobado (área 1.895,42 ha).
- Del 2019 al 2021: se realiza solicitud de la extensión de la etapa reasentamiento por minería ilegal (Res. 02427 prohíbe construcción hasta culminar; Res. 01447 permite concomitancia escalonada).
- En el 2022: se realiza ajuste instalaciones locativas como cambio menor (Of. 2022084565).
- En el 2023: se realiza ajuste al PMA\_BIO\_07 flora en veda (Res. 943, modificada por Res. 2649 reposición).

Una vez, el proyecto obtiene la licencia ambiental y modificaciones y ajustes mencionados anteriormente, desarrolló las actividades previas para iniciar con la explotación del proyecto licenciado. Sin embargo, varias realidades han hecho sinergia para que sea necesario reconsiderar el Plan de Trabajo y Obras del proyecto en mención, presentado a la Agencia Nacional de Minería - ANM mediante radicado 20251004341112 del 19 de diciembre de 2025 y presentar una nueva huella y diseño de este. Esto hace necesario modificar la licencia ambiental mientras se avanza con actividades preliminares que están enfocadas especialmente en garantizar el reasentamiento minero como actividad central.

Es claro que el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote está enmarcado como proyecto que requiere licencia ambiental, tal como está establecido en el Decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.2.3.2.2 competencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) que dice: “*Competencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- otorgará o negará de manera privativa la licencia ambiental para los siguientes proyectos, obras o actividades: ...*

*2. En el sector minero: La explotación minera de: ...*

*c) Minerales metálicos y piedras preciosas y semipreciosas: Cuando la remoción total de material útil y estéril proyectada sea mayor o igual a dos millones (2.000.000) de toneladas/año”.*

Lo anteriormente expuesto implica que, según el decreto citado, en su artículo 2.2.2.3.7.1. Modificación de la licencia ambiental: “La licencia ambiental deberá ser modificada en los siguientes casos: 1. Cuando el titular de la licencia ambiental pretenda modificar el proyecto, obra o actividad de forma que se generen impactos ambientales adicionales a los ya identificados en la licencia ambiental.”, es necesaria la modificación, dado que, los impactos a los que se refiere el artículo citado se modifican no por novedad en los mismos, sino por el cambio de localización de los impactos y magnitud de los mismos.

Es importante aclarar que, en términos de identificación de impactos, dado que los profesionales técnicos de las autoridades ambientales han trabajado en procesos de homologación, se asume la metodología propuesta por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, relacionado con el tema de impactos (ANLA, 2023). El documento incluirá no nuevos impactos sino la homologación de los declarados en el proceso de licenciamiento original con las denominaciones de impactos propuestos por las autoridades ambientales en una lista taxativa.

Estas modificaciones optimizan y aumentan la factibilidad del proyecto, con una disminución de la huella y un menor impacto ambiental (Figura 0.1). En general, los principales cambios están relacionados con ajustes en el plan minero, diseño de la explotación y emplazamiento de estériles y materiales de baja ley. La optimización de los diseños conllevó la reconfiguración de vías mineras para la reducción de las distancias de los acarrees, la disminución de depósitos de material sobrante de excavación (ZODME) y el ajuste y relocalización de plataformas e instalaciones auxiliares y de apoyo (Ver plano I-P-0010719-VI-DG-GEN-010, Planta General del Proyecto).

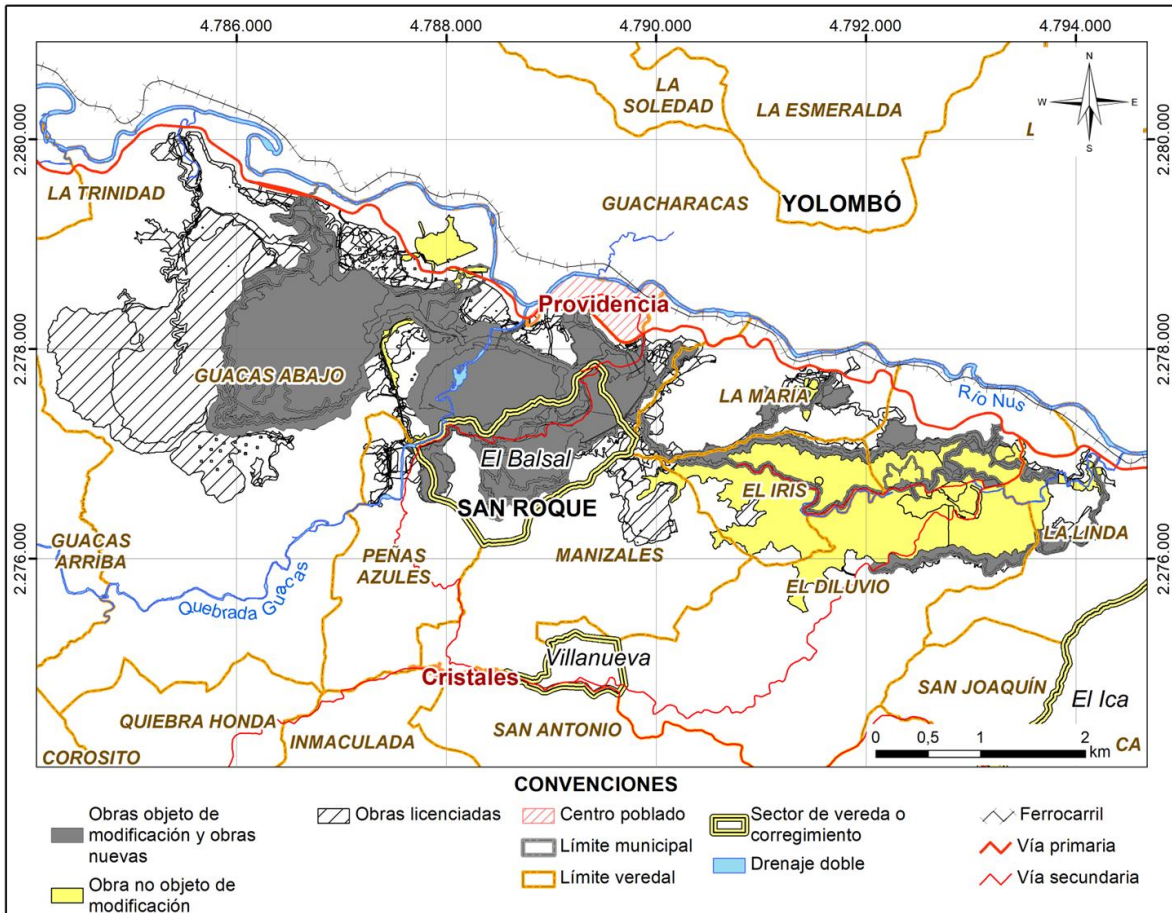


Figura 0.1 Obras Licenciada vs Obras de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro Cielo Abierto Gramalote  
Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2025

En la **Tabla 0.1** se presentan las principales modificaciones propuestas con relación a Licencia Ambiental aprobada.

Tabla 0.1 Resumen de las **principales modificaciones** con relación al proyecto licenciado

Obras y/o Actividades	Características del Proyecto Licenciado	Características del Proyecto para la Modificación
Tajos (Frentes de explotación)	Tajo Gramalote Tajo Gramalote Satélite Tajo Monjas	Tajo Gramalote

Obras y/o Actividades	Características del Proyecto Licenciado	Características del Proyecto para la Modificación
Almacenamiento de estériles y Depósitos de materiales explotables	Depósito de Estériles (Cuencas quebradas El Topacio, El Banco y San Antonio) Depósitos de Óxidos 1 (Batea) y Óxidos 2 (El Banco) Depósito de Baja Ley (El Banco) Depósito de Baja Ley (El Banco)	Depósito San Antonio (Cuencas quebradas El Banco y San Antonio) Depósito El Balsal (Cuenca quebrada El Balsal)
Plataforma Trituración	Predio San Antonio Lote Uno. Ubicada al Noroeste del Tajo Gramalote	Predios El Balsal. Ubicada al Este del Tajo Gramalote
Ubicación Planta de beneficio	Predio El Banco. Ubicada al Noroeste del Tajo Gramalote	Predios La Colorada Lote 2 y El Balsal. Ubicada al Este del Tajo Gramalote
Capacidad Planta de beneficio	19 Mtpa (Capacidad nominal anual)	6 Mtpa (Sólo circuito de sulfuros)
Mineral Tratado	156 Mt (total óxidos más sulfuros)	76,7 Mt
Procesamiento	Trituración, Molienda, Flotación, Lixiviación CIP, Recuperación, Regeneración de carbón, Fundición, Detoxificación. (Circuitos de Óxidos y Sulfuros)	Trituración, Molienda, Flotación, Lixiviación CIP, Recuperación, Regeneración de carbón, Fundición, Detoxificación. (Sólo circuito de Sulfuros)
Zona de servicios mineros (talleres, bodegas, etc.)	Área Integrada de Operaciones (Predio El Banco. Ubicada al Noroeste del Tajo Gramalote)	Plataforma Zona de Servicios (Predio El Balsal. Ubicada al Este del Tajo Gramalote)
Vías / Depósitos de material sobrante de excavación (ZODME)	~32 km de vías 14 ZODME	~25.5 km de vías (-20%) 10 ZODME
Otras Plataformas e Infraestructura asociada	Portería (Predio El Banco)	Portería: Plataforma La Mayoría (Predio La Mayoría)
	Campamento (Predio El Banco)	Campamentos y Oficinas (Predio La Mayoría)
	Polvorín (Predio Peñas Azules)	Plataformas Polvorín 1 (Construcción) y Polvorín 2 (Operación) (Predio El Balsal)
	Ciclones: 1 Plataforma	Ciclones: 3 Plataforma

Obras y/o Actividades	Características del Proyecto Licenciado	Características del Proyecto para la Modificación
Sedimentadores y obras anexas	9 sedimentadores	Optimizados: 2 Sedimentadores No Objeto de Modificación: 2 Sedimentadores Nuevo: 1 Sedimentador
Realineación de la quebrada Guacas	Túnel de desvío Guacas / Canal Desviación Guacas	Obras No Objeto de Modificación
Manejo de Relaves o Colas	Ubicada en la cuenca de la quebrada La Palestina	Obra No Objeto de Modificación
Canteras	3 canteras	1 cantera: No Objeto de Modificación 2 canteras: Objeto de Devolución
Cronograma (Etapas)	Construcción y montaje: 2,5 años Operación: 12 años Cierre y Post-cierre: 7,5 años	Construcción y montaje: 2,5 años Operación: 13 años (Incluye 3 años de sólo procesamiento) Cierre y Post-cierre: 7,5 años
Producción: Oro producido: Plata producido:	3,85 Moz 2,4 Moz	2,26 Moz 1,01 Moz

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2025

La Modificación de la Licencia Ambiental para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote contempla el desarrollo de actividades de construcción, montaje y explotación de yacimientos de oro, plata y otros minerales asociados, así como las operaciones de beneficio asociadas, dentro del área amparada por el **Contrato Único de Concesión T14292011**.

Para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se ha definido la explotación mediante un tajo a cielo abierto (Tajo Gramalote), modalidad que se ajusta a la geometría del depósito y a su posición cercana a la superficie. Esta alternativa permite un manejo adecuado de los volúmenes a remover y facilita la operación con los equipos mineros previstos para el proyecto.

La operación se desarrollará a partir de ciclos de perforación y voladura, seguidos por el cargue y transporte del material mediante equipos de gran capacidad. Un conjunto de retroexcavadoras y cargadores será responsable del cargue en camiones mineros, los cuales movilizarán el mineral hacia la planta de procesamiento, los sectores de acopio temporal o las zonas destinadas al manejo de estériles, de acuerdo con la clasificación del material. Para el soporte de la operación se emplearán bulldozers, motoniveladoras y vehículos de servicio encargados de la conformación de vías, empuje de material, limpieza y mantenimiento general.

Las actividades principales de explotación y beneficio serán desarrolladas de manera directa por la empresa titular, incluyendo tanto la extracción del mineral como su procesamiento en la planta de sulfuros optimizada.

## **0.2 FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO**

El Proyecto Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se desarrolla en cuatro fases principales según Resolución ANLA 1514/2015 (modificada por Res. 00782/2019, 02427/2019 y 01447/2021): Reasentamiento, Construcción y Montaje, Operación y Abandono y cierre.

Actualmente, el proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote se encuentra en etapa de Reasentamiento (RE), y pretende iniciar actividades de construcción y montaje una vez en cumplimiento de los numerales 1 y 9 del Artículo Cuarto de la Resolución 01447 de 2021, informe a las Autoridades ANLA con antelación la fecha prevista para dar inicio formal a la mencionada etapa, confirmando las unidades sociales que serán sujeto de aplicación de los diferentes criterios habilitantes y el esquema escalonado según el progreso o avance de las obras o actividades, así como el progreso del resultado del proceso de reasentamiento.

En este sentido, las etapas o fases se mantienen con un ajuste en el cronograma. La etapa o fase de construcción y montaje se sigue estimando para ser desarrollada durante 2,5 años; la operación (explotación y beneficio) se amplía a 13 años; y el abandono, cierre y post cierre se mantiene en 7,5 años.

## **0.3 LOCALIZACION DEL PROYECTO**

La Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se ubica en el nordeste del departamento de Antioquia, en jurisdicción del municipio de San Roque, Colombia. El área del proyecto se encuentra aproximadamente a 100 km por carretera al nororiente de Medellín y a 400 km por carretera al noroccidente de Bogotá. Las zonas objeto de modificación comprenden las veredas Guacas Abajo, Peñas Azules, La María, La Linda, El Diluvio, Manizales y el centro poblado (CP) del corregimiento de Providencia en el municipio de San Roque (véase la Figura 0.2).

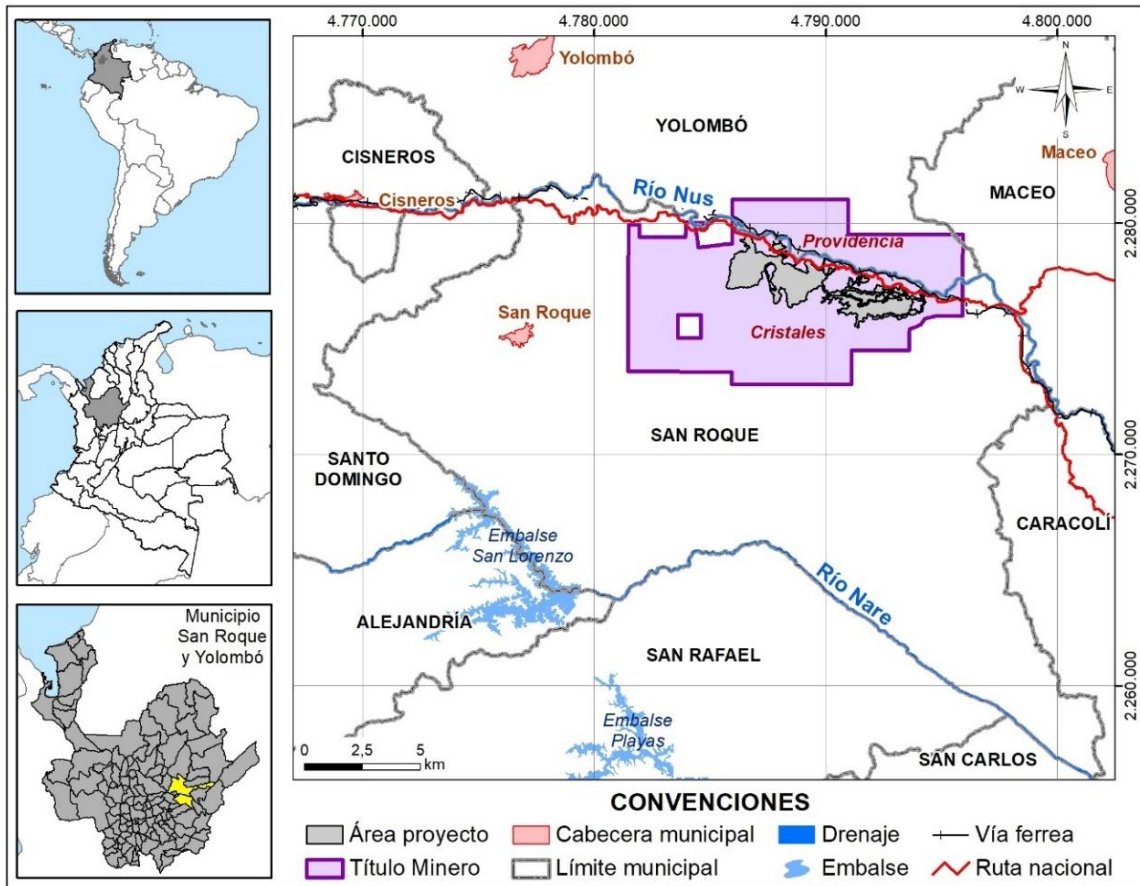


Figura 0.2 Localización político-administrativa del proyecto  
Fuente: Integral S.A., 2025 con información de Gramalote Colombia Limited (GCL)

## 0.4 AREA DE INFLUENCIA

El documento define áreas de influencia específicas por componente y medio, integradas luego en un área única de influencia del proyecto, en coherencia con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambiental - MGEPEA 2018 y los TdR-13 para minería.

El área de influencia se entiende como la fracción del territorio donde se manifiestan impactos negativos directos, indirectos, sinérgicos o acumulativos que son significativos para la sociedad y el medio ambiente. Esta se construye de forma iterativa: primero áreas preliminares por componente, luego ajuste pos-campo hasta obtener áreas definitivas por componente, por medio (abiótico, biótico, socioeconómico) y finalmente un área integrada del proyecto.

La delimitación se fundamenta en huella del proyecto (obras objeto de modificación, obras nuevas y no objeto de modificación), modelos (hidráulicos, de aire, ruido, conectividad),

unidades mínimas de análisis (cuencas, ecosistemas, unidades territoriales) e identificación de impactos significativos homologados a la estandarización ANLA 2023.

Para el medio abiótico se consideraron los siguientes componentes:

- Geosfera (geología, geomorfología, geotecnia): el área de influencia se construye por superposición de áreas definidas para cada componente, a partir de la interacción de la huella del proyecto con unidades geológicas y geomorfológicas y las zonas sujetas a afectación geotécnica.
- Suelos y uso de la tierra: el área de influencia de análisis se asimila al área proyecto, considerando las unidades de suelo presentes en las obras nuevas y de modificación, donde se concentran los impactos de remoción, compactación y cambio de uso.
- Hidrología, calidad y usos del agua: se delimitan microcuencas que se traslapan con obras nuevas y objeto de modificación, más fajas de 30 m en cauces menores (retiros de ronda) y manchas de inundación para crecientes de 100 años en cauces mayores; aguas abajo se llega hasta confluencia con cauce de igual o mayor orden o hasta la longitud de mezcla en el río Nus.
- Atmósfera (calidad de aire y ruido):

Calidad del aire: se toma la envolvente de las isopleas anuales de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> con control, usando valores de referencia 20 y 10 µg/m<sup>3</sup> (fondo incluido), en escenarios de construcción y operación.

Ruido: a partir de modelos para construcción y operación se selecciona la isófono de 45 dBA (criterio precautelar frente a Resolución 627 de 2006) y se genera la envolvente con la infraestructura del proyecto; esta define el área de influencia por ruido.

El área de influencia integrada del medio abiótico se obtiene por superposición de las áreas de análisis de todos los componentes abióticos, alcanzando alrededor de 2.495,27 ha. (ver Figura 0.3)

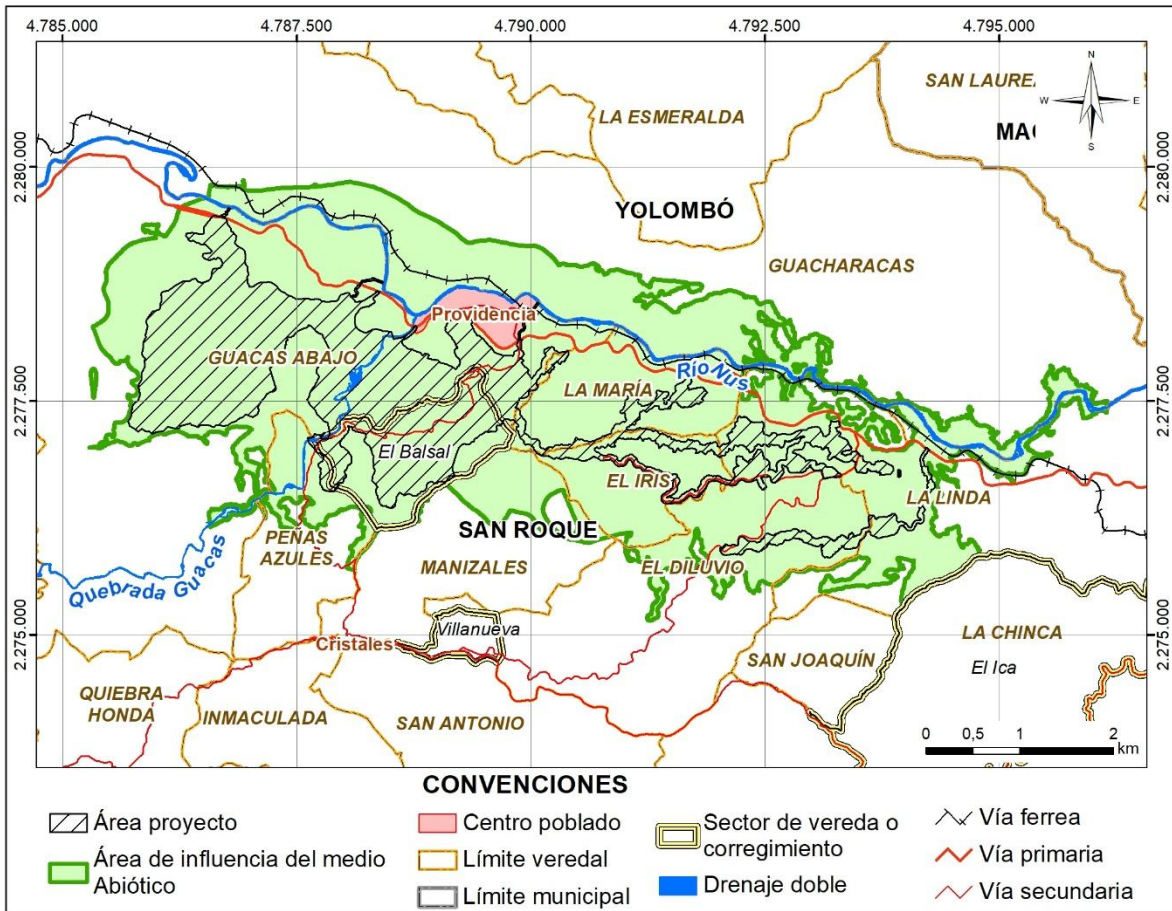


Figura 0.3 Área de influencia de análisis para el medio abiótico

Fuente: Integral S.A., 2025

En el medio biótico, se analizaron los siguientes componentes:

- Ecosistemas terrestres – flora y fauna: se parte del traslape del área proyecto (obras nuevas y objeto de modificación) y las obras licenciadas (no objeto de modificación) con los elementos de cada componente (coberturas, hábitats, unidades de vegetación), donde pueden expresarse los impactos de pérdida y fragmentación de hábitat, alteración de procesos ecológicos y presión sobre la fauna.
- Ecosistemas acuáticos: se consideran las unidades de análisis asociadas a los tramos de cauces y cuerpos de agua influenciados por captaciones, ocupaciones y vertimientos, coherentes con el área hidrológica definida para el medio abiótico.
- Conectividad ecológica funcional: en dónde se modelan escenarios Sin Proyecto (0SP) y Con Proyecto Modificación (2CPM) para especies foco (*Leopardus pardalis* y *Oedipomidas leucopus*) y se delimitan nodos, corredores y enlaces relevantes. El área

de influencia incluye toda el área de intervención, nodos eliminados y modificados, enlaces asociados, nodos receptores y corredores truncados por el umbral de movilidad, integrando luego un área multi-especie de conectividad funcional.

El área de influencia integrada del medio biótico resulta de la superposición de las áreas de flora, fauna, ecosistemas acuáticos y conectividad funcional, la cual ocupa un área de 3.807,57 ha (ver Figura 0.4)

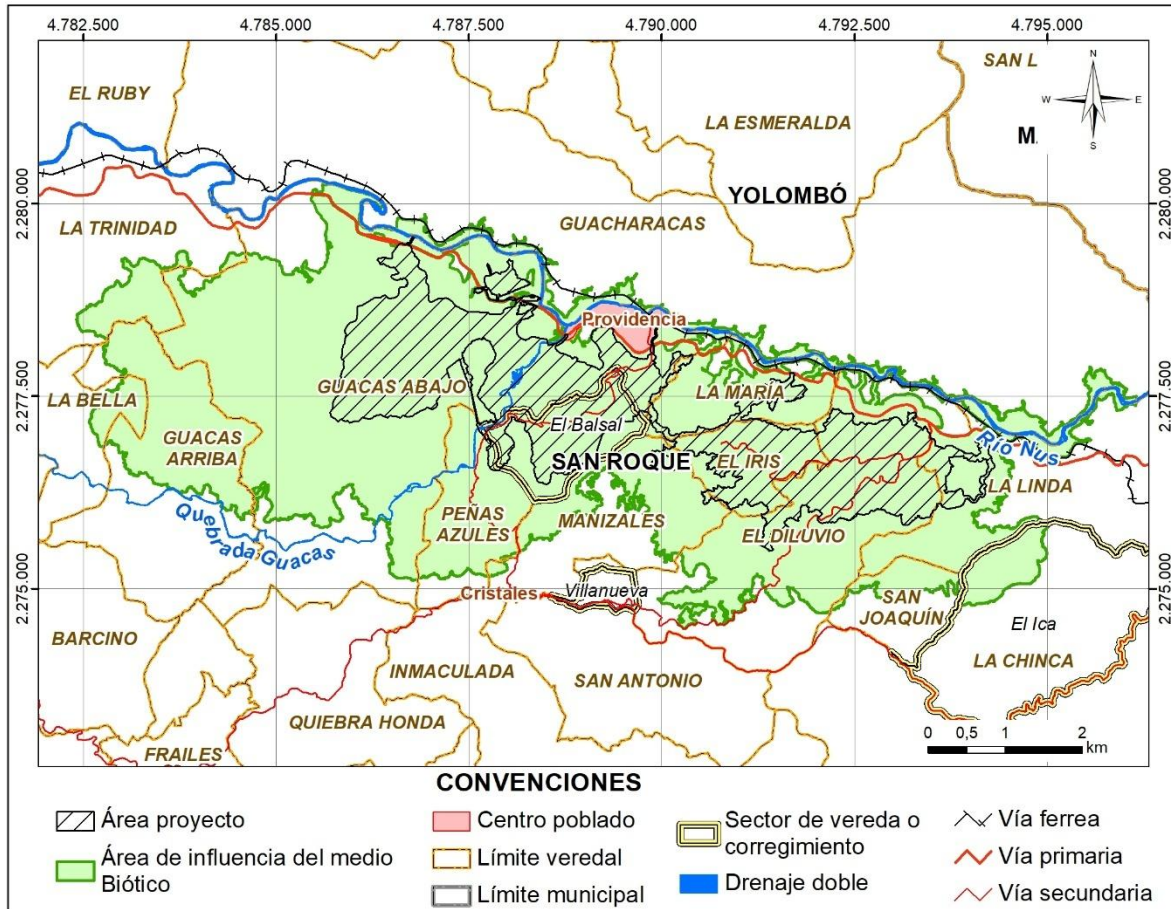


Figura 0.4 Área de influencia de análisis para el medio biótico

Fuente: Integral S.A., 2025

En cuanto al medio socioeconómico se analizaron los siguientes componentes:

- Demográfico y espacial: se emplean unidades territoriales como unidades mínimas de análisis, generalmente coincidentes con veredas y centros poblados que se solapan con el área de intervención y con las áreas de influencia de otros medios.

- Económico: se consideran las veredas y centros poblados donde se concentran actividades productivas (principalmente agropecuarias) afectadas por cambios en la disponibilidad de recursos, acceso a infraestructura y transformación del uso del suelo.
- Paisaje: se aplica un análisis de cuencas visuales a 5 km y 7 km y se adopta el radio de 7 km por ser más representativo de la percepción visual en un contexto de valle y colinas, la cual integra unidades territoriales con visibilidad alta o moderada de la infraestructura minera.
- Cultural: se incorporan las mismas unidades territoriales del paisaje y aquellas solapadas con el área de intervención, donde se manifiestan impactos por alteración en la percepción visual del paisaje y cambio en el uso socioeconómico del suelo, sin cambios adicionales en los patrones culturales ya licenciados.
- Político-organizativo: se amplía el área de influencia para incluir las localidades donde pueden materializarse conflictos socioambientales asociados a la presencia del proyecto y a la incidencia acumulada de impactos abióticos y bióticos, abarcando varios corregimientos y veredas de San Roque y Yolombó

El área de influencia integrada del medio socioeconómico resulta de la superposición de las áreas de demográficas, especial, demográfico, económico, paisaje, cultural y político-organizativo flora, fauna, ecosistemas acuáticos y conectividad funcional, la cual ocupa un área de 10.523,92 ha (ver Figura 0.5).

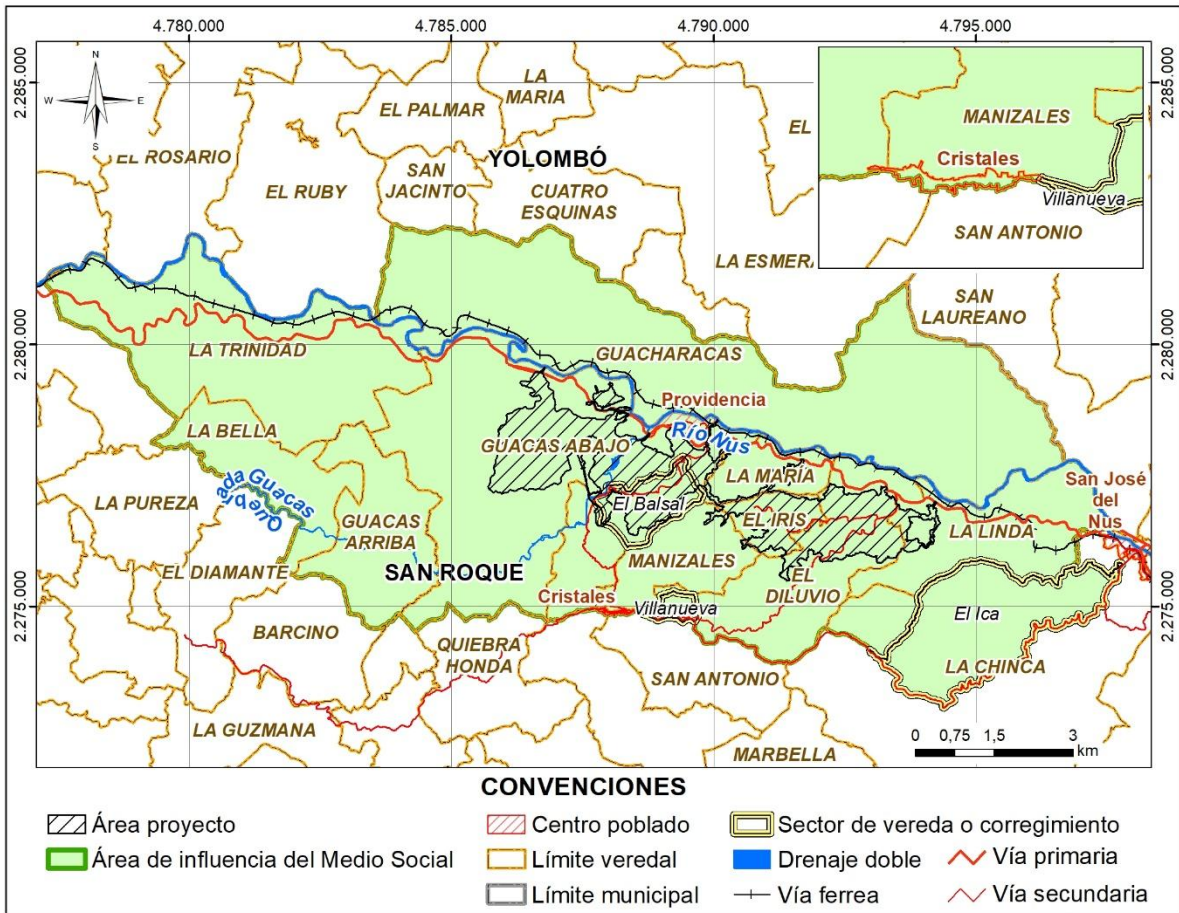


Figura 0.5 Área de influencia de análisis medio socioeconómico

Fuente: Integral S.A., 2025

La integración espacial de las áreas de influencia definitivas por componente y medio genera un área de influencia única del proyecto, contempla un área de 10.523,92 ha (ver Figura 0.6).



unidad presenta variadas facies composicionales con predominio de rocas tipo cuarzdioritas, que varían localmente desde gabros a granodioritas (González I, 2001), en la zona del proyecto los principales tipos composicionales son tonalita y granodiorita, con monzonita y gabro. Las dataciones realizadas sugieren que la mineralización de oro está asociada con las últimas etapas de cristalización del batolito

Estas rocas están cubiertas por una gruesa capa de suelo residual y saprolito, producto de la alta meteorización y alteración del macizo rocoso ígneo. Son suelos de grano fino, de color rojizo a marrón amarillento, plasticidad media a baja, susceptibles a procesos de erosión superficial.

En una proporción menor, se encuentran los depósitos aluviales en los valles del río Nus y de las quebradas, compuestos de grava, arena, limo y arcilla con espesores entre 3 y 15 m. También han sido identificados depósitos de flujo y coluviones en las laderas de algunas colinas.

Estructuralmente, el Batolito Antioqueño está limitado por dos grandes sistemas estructurales; hacia el oeste por el Sistema de Fallas Romeral y hacia el este, por el Sistema de fallas de Palestina. Otras estructuras se encuentran limitadas por el Batolito Antioqueño, la mayoría producidas por esfuerzos termales y presiones magmáticas debido a la contracción durante el enfriamiento del cuerpo, las cuales exhiben patrones estructurales semicirculares (Gerla, 1988), de pocos metros de espesor y varios kilómetros de longitud (Feininger, Barrero L, & Castro Q, 1972). El marco estructural del área comprende así mismo, lineamientos a gran escala de dirección preferencial E-W a NW-SE. Estas estructuras regionales extensionales incluyen las fallas, Cisneros, Nare, las zonas de cizalla Cristales y Sofía.

Para realizar la caracterización geológica local de la zona de interés, se han realizado varias campañas de exploración indirecta, que incluye ensayos de refracción sísmica realizados en el 2013, sondeos eléctricos verticales realizados y perfiles geoeléctricos realizados en el año 2018, ensayos de refracción sísmica y MASW realizados en el 2020 y en el 2025. Además, se presenta información asociada a las campañas de exploración directa realizada desde el año 2012 hasta el año 2025 con un total de 17 apiques y 226 perforaciones.

Con la información anterior, se identificó que los mayores espesores de suelo residual (VI) y saprolito (V) (entre 5,0 m y 40,0 m), ocurren en sitios de pendientes bajas a moderadas. Estas pendientes bajas corresponden a cimas amplias de baja inclinación, quiebres de pendiente en la ladera, zonas de colinas y en los fondos de los valles. En los primeros metros bajo la superficie se encuentra un suelo residual que perdió la textura de la roca original por el proceso de meteorización química. Este suelo se presenta como un limo arcilloso, homogéneo, de color café rojizo a naranja, de consistencia variable. Subyaciendo este horizonte se encuentra el saprolito es una arena limosa, color gris claro, de compacidad suelta a firme. Cuando la roca inicial presenta cantidades altas de minerales ferromagnesianos, el saprolito generado se compone de un limo arenoso, color rojo amarillento con moteados blancos y negros. También se observa alteración de la roca por meteorización esferoidal. También suele encontrarse con espesores variables hasta 10,0 m el horizonte de transición suelo – roca constituido por suelo con las mismas características texturales que el saprolito y roca moderadamente meteorizada. Por último, los horizontes

de roca se encuentran aflorando en cotas bajas hacia la incisión del terreno desarrollada por drenajes que cruzan el área de influencia y que permiten localmente observar horizontes de meteorización III y II (Dearman, W.R., 1974) de las rocas del Batolito Antioqueño.

Además, se identificó que, el área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se encuentra localizada principalmente sobre UGS de roca inalterada de origen ígneo y del tipo cuarzodioritas y gabros pertenecientes al Batolito Antioqueño. Estas unidades se encuentran cubiertas en algunos sectores por suelos transportados del tipo depósitos de vertiente (coluviales y de flujo) y depósitos aluviales de espesores variables que se asocian a la quebrada La Palestina.

En cuanto al Depósito Gramalote se ha realizado una caracterización detallada con 1245 perforaciones proporcionando información más precisa sobre la continuidad, extensión y características geotécnicas e hidrogeológicas del cuerpo mineralizado. Se identificó que La alteración está controlada estructuralmente y ocurre tanto en zonas amplias como en bordes delgados alrededor de las vetas. En el depósito mineral, los bordes de las vetas varían desde unos pocos milímetros hasta 10 cm. Las zonas de alteración más amplias imitan el comportamiento de las vetas y progresan desde una zona exterior de cuarzo-sericita a zonas interiores potásicas y de carbonato – carbonato sericita. Se identifican típicamente tres zonas de alteración difusa y superpuesta que alternan de roca fresca a vetas mineralizadas en un rango generalmente menor de 20 cm:

- Una sericita incipiente distal (alteración de plagioclasa a una zona de mica fina) con magnetita parcialmente oxidada y biotita alterada a clorita.
- Una sericitización extensa intermedia y una zona de carbonato incipiente con piritita reemplazando a la magnetita y una carbonatización incipiente.
- Una zona proximal sin magnetita,  $\pm$  feldespato-K, moscovita que reemplaza completamente a la clorita y una mayor carbonatización.

El depósito mineral tiene unas dimensiones de 1.300 x 1.500 x 700 m. La mineralización ha sido probada con perforación hasta una profundidad de aproximadamente 650 m. La mineralización está alojada en una tonalita uniforme de grano medio con pequeñas cantidades menores de granodiorita y aplita. Diques de composición diorítica a granodiorítica y granítica se encuentran en toda el área de depósito mineral y constituyen menos del 1% en volumen del macizo rocoso observado. La tonalita huésped es débilmente magnética y la mineralización/alteración es magnéticamente destructiva, por lo que los mapas de magnetismo muestran las zonas mineralizadas con bajo valor. La mineralización ocurre dentro de varias zonas que se fusionan periódicamente tanto a lo largo del rumbo como en el buzamiento. Las zonas varían de 10 a 150 m de espesor con buzamientos verticales a subverticales al sur - sureste. El depósito permanece abierto en profundidad y a lo largo del rumbo. Los tenores anómalos de oro están relacionados con tres asociaciones de alteración sobreimpuestas, con destrucción de texturas; las cuales corresponden a potásica, cuarzo-sericita y sericita-carbonato. Las características de la destrucción de magnetita en estas zonas se definen claramente a partir de estudios magnéticos aéreos y

terrestres sobre la roca huésped de tonalita, la cual es débil a moderadamente magnética. La mineralización está alojada en vetas, ya sea en vetas laminadas o en stockworks locales, y está controlada estructuralmente. El yacimiento se considera un ejemplo de depósito de oro intrusivo controlado estructuralmente.

De la geoquímica del yacimiento se concluye que:

- El depósito se encuentra alojado casi predominantemente dentro de una tonalita compuesta por biotita y hornblenda y una granodiorita intrusiva (pHase Geochemistry, 2013).
- La mineralización está controlada estructuralmente dentro de un conjunto de vetas agrupadas de cuarzo. Las vetas incluyen vetillas de cuarzo con pirita de grano fino (Tipo 1), vetillas de cuarzo-carbonato (Tipo 2) y vetillas de cuarzo con pirita granular (Tipo 5) (pHase Geochemistry, 2013).
- El contenido de sulfuro está asociado en gran medida a la presencia de estas vetillas. Solo se observa un mínimo de pirita diseminada, cuya abundancia es generalmente baja (el promedio de todas las muestras en la base de datos de exploración es ~ 0,3%, incluyendo intervalos de mineral) (pHase Geochemistry, 2013)
- El contenido de azufre se correlaciona con el oro y la plata. Por lo tanto, se prevé que las zonas con contenido más alto de azufre clasifiquen como mineral (pHase Geochemistry, 2013)
- El estudio de testigos de perforación muestra correlaciones entre ciertos parámetros tal como se espera teniendo en cuenta el tipo de mineralización, así como la mineralogía de sulfuro y sulfosales (pHase Geochemistry, 2013).

## 0.5.2 GEOMORFOLOGÍA

La evolución del relieve para el departamento de Antioquia, según el SGC (2012) está determinada por levantamientos tectónicos en la cordillera Central y los cambios climáticos propios de esta zona tropical, evidenciados en diferentes características, entre ellas, las geoformas de los diferentes ambientes morfogenéticos que describen el origen y la evolución de la denominada unidad geomorfológica.

Los espesos perfiles de meteorización de las rocas ígneas asociadas al Batolito Antioqueño que constituyen los terrenos donde se ubica el área de influencia de la modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote, son determinantes al momento de clasificarlos geomorfológicamente, sumado a las condiciones tropicales típicas del territorio que permiten la configuración de un ambiente en parte denudacional, con rasgos morfológicos secundarios de un ambiente estructural relacionado con patrones tectónicos de segundo orden asociados con la Falla Cisneros. Además de lo anterior, la dinámica fluvial asociada al río Nus y sus tributarios más importantes favorecen las condiciones para que en los sectores aledaños a estos cuerpos predomine un ambiente fluvial de sedimentación. Por último, se presentan geoformas que suavizan el relieve hacia sectores intermedios y la base de las laderas, y que comprenden depósitos coluviales y de flujos derivados de los horizontes de suelos del Batolito Antioqueño.

El ambiente morfogenético alude a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas en las cuales se generaron las geoformas y se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados (origen tanto endógeno como exógeno), que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de éstas. En la zona de estudio se da lugar principalmente a un ambiente denudacional y en menor medida estructural, fluvial y antropogénico:

- **Ambiente denudacional (D):** determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y producto principalmente de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa sobre geoformas preexistentes (Servicio Geológico Colombiano, 2015).
- **Ambiente fluvial (F):** geoformas producidas por procesos (erosión – sedimentación), generalmente por corrientes de agua tales como ríos, arroyos, lagos y lagunas, respectivamente (Servicio Geológico Colombiano, 2015).
- **Ambiente estructural (S):** geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente la asociada a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades (Servicio Geológico Colombiano, 2015).
- **Ambiente antropogénico (A):** Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros, y adecuación de nuevas vías que modifica la morfología natural del terreno.

La cuenca del río Nus presenta un patrón de drenaje sub-dendrítico, con un cauce mayor bien definido correspondiente al río Nus de patrón meándrico y una gran cantidad de pequeños afluentes. Este patrón de drenaje es típico de aquellas áreas donde el curso principal fluye en una zona en la que la pendiente y el control estructural son distintos a los de la zona por la que se desarrollan sus tributarios. En general, las quebradas del sector fluyen en dirección sur-norte y el río Nus en sentido oeste – este. Como principales afluentes en el área de influencia abiótica se destacan las quebradas: El Topacio, El Banco, El Balsal, La Linda, San Antonio, Guacas, La Palestina y La Colorada.

El río Nus presenta un valle amplio que conforma una superficie de baja pendiente entre zonas de vertientes. Esta planicie es modificada hacia los sectores de la base de las vertientes por la dinámica de ladera. Está representada en el sector, por depósitos aluviales que descienden a lo largo de los cauces por ambas márgenes del río.

De acuerdo con el modelo digital de elevación de 1 m de resolución, el territorio delimitado por el área de influencia abiótica muestra un relieve predominantemente escarpado, donde el 42,70% del territorio presenta pendientes moderadamente empinadas (50–75%) y el 27,18% pendientes ligeramente escarpadas (25–50%). Las zonas más planas, asociadas principalmente a depósitos aluviales cerca del río Nus, representan porcentajes reducidos del área (entre 1,25% y 5,48%). Hacia las partes altas del terreno predominan pendientes fuertes y totalmente escarpadas, que alcanzan hasta el 100% de inclinación o más, en su mayoría formadas por suelos residuales derivados del Batolito Antioqueño y con susceptibilidad a procesos erosivos y movimientos en masa.

La zona de interés hace parte de un paisaje de montaña dinámico, de clima tropical y elevadas precipitaciones. En este tipo de paisajes actúan una serie de procesos superficiales que se encargan de modelar las geoformas y definir su grado actual de estabilidad. A partir de las labores de fotointerpretación, análisis de imágenes satelitales y recorridos de campo, se observó que la ocurrencia de procesos morfodinámicos tiene que ver con diferentes condiciones. Entre estas se incluyen altas pendientes, susceptibilidad de los suelos y alta densidad de drenajes. También influyen épocas de lluvias, e intervención antrópica relacionada con deforestación, cultivos y minería artesanal.

Se identificaron procesos de erosión laminar y concentrada (surcos y cárcavas), con alta densidad hacia el cerro Gramalote como resultado de la actividad minera artesanal, cicatrices de deslizamientos y deslizamientos activos, localizados en laderas escarpadas. También zonas de empozamiento de agua cercanas a surcos y flujos de agua. Además, procesos de reptación por sobrepastoreo en laderas suaves a medias. Procesos de sedimentación activa en las zonas cercanas a las corrientes que drenan el relieve y al río Nus y también procesos de socavación lateral.

Para este informe se retomó tanto el análisis realizado en el marco del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto (Integral S.A, 2015), que utilizó fotografías aéreas de los años 1974, 1996 y 2011, como también de los recorridos de campo llevados a cabo por Integral S.A. en los periodos de 2016 y 2017. Adicionalmente, para la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del año 2025 se trazaron procesos morfodinámicos por medio de interpretación de imágenes satelitales y ortofotos específicas del área del Proyecto Gramalote. Al analizar la evolución de los procesos superficiales a través del tiempo, se identificaron diferentes condiciones. Existe la evidencia del aumento moderado en el número de procesos morfodinámicos y algunas veces aumenta la magnitud de los existentes, definiendo zonas de degradación. También se identificaron zonas de recuperación o en las cuales los procesos tienden a ser estabilizados con el tiempo. Por último, aquellas zonas estables sin la aparición de procesos morfodinámicos a través del tiempo analizado.

En cuanto a la susceptibilidad ante la ocurrencia de procesos erosivos del área de influencia abiótica del proyecto. Se observa un predominio de la categoría Media, con un 35,02%, seguida por la clase Alta (30,36%) y la clase Muy Alta (26,40%). Esta última se concentra en las zonas planas adyacentes al río Nus, donde la dinámica fluvial y la textura de los depósitos incrementan la probabilidad de erosión. Esta distribución indica que, aunque existen condiciones relevantes en áreas específicas, la mayor proporción en la categoría Media sugiere una estabilidad relativa del terreno.

Por otro lado, la susceptibilidad por remoción en masa para el área de influencia abiótica del proyecto objeto de la modificación, se encontró que el 52,61% corresponde a susceptibilidad media, el 34,18% se define en la categoría baja y el 13,21% en la categoría alta. La mayoría de los procesos morfodinámicos de tipo movimientos en masa presentes en los terrenos de análisis se encuentran colonizados por la vegetación, es decir ya corresponden a un rasgo morfológico en el terreno (lo que se denomina cicatrices de deslizamiento). Esta condición contribuye a la estabilidad general del área, sin embargo,

se debe tener en cuenta el manejo de las laderas en cuanto a términos de intervenciones antrópicas, para minimizar riesgos y garantizar la estabilidad a largo plazo.

### 0.5.3 PAISAJE

El estudio de paisaje para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote identifica y describe el paisaje en el área de influencia del proyecto Gramalote (7.198,96 ha para paisaje, 10.523,92 ha socioeconómica), en el cual se realiza el análisis paisajístico se estructura en los siguientes componentes principales: fisiografía y geomorfología, que incluye la identificación de elementos constitutivos del paisaje (coberturas y geomorfología) y la delimitación de unidades de paisaje local; percepción del paisaje mediante análisis de visibilidad, correspondiente al estado actual del paisaje, cuencas visuales y descripción de observadores; atributos del paisaje con evaluación de la calidad visual y fragilidad; integridad escénica del paisaje, que evalúa elementos discordantes, tamaño y dimensiones de la discordancia, análisis de correspondencia cromática e identificación de la integridad escénica; escala visual y nivel de interés para determinar la percepción espacial y relevancia paisajística; sitios de interés paisajístico con identificación de áreas de especial valor visual y cultural señaladas por la comunidad; interacción proyecto-paisaje mediante análisis de las modificaciones paisajísticas derivadas de la implementación del proyecto; percepción de la comunidad con evaluación de la valoración social del paisaje en el área de influencia a través de encuestas; y zonificación del valor paisajístico, que categoriza el territorio según la importancia paisajística identificada.

El análisis paisajístico se desarrolla considerando los enfoques conceptuales: el paisaje visual y el paisaje ecológico (Muñoz-Pedrerros, 2004), así como la herramienta “Paisaje Visual” de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales presentada en el Manual para la estimación de la cuenca visual del paisaje y su valoración económica ambiental (ANLA, 2023), en concordancia con los Términos de Referencia – EIA – Proyectos de explotación minera TdR-13 (ANLA, 2016) y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018 (MADS; ANLA, 2018).

En el área de influencia de paisaje, el territorio se caracteriza por una configuración altamente heterogénea, donde la distribución y extensión de las coberturas definen con claridad los roles estructurales básicos: matriz, parches y corredores. En dónde la matriz representa el 36,58% (3.849,93 ha) del área de influencia del medio socioeconómico y 36,11% (2.599,19 ha) del área de influencia del componente de paisaje, la cual conforman la base continua del territorio (pastizales, mosaicos agrícolas, cañaverales); el parche representa el 50,97% (5.364,48 ha) del área de influencia del medio socioeconómico el cual interrumpen la uniformidad y generan contraste (urbanos, industriales, cuerpos de agua, relictos de bosque y usos agrícolas menores) y 51,49% (3.706,53 ha) del área de influencia del componente de paisaje y el corredor representa el 12,44% (1.309,50 ha) del área de influencia del medio socioeconómico y 12,41% (893,25 ha) del área de influencia del componente de paisaje representada por ríos, vías y bosques de galería los cuales destacan como elementos lineales que articulan la disposición del conjunto. Esta organización determina la diversidad de formas y patrones que caracteriza la estructura del paisaje.

Las unidades de paisaje (UP) se entienden como divisiones espaciales que estructuran el territorio de análisis. Cada UP constituye una conformación ordenada y coherente de partes elementales que le confieren una identidad propia y diferenciada. Esta identidad integra tanto aspectos naturales como culturales, y refleja patrones de forma, cobertura y funcionalidad (Etter, 1991). De esta manera, las UP se configuran como expresiones paisajísticas con valores ecosistémicos, estéticos y socioeconómicos, relevantes para la población local y para el uso del territorio en general. Para el proyecto Gramalote se obtuvieron 50 unidades de paisaje en el área de influencia del medio socioeconómico y 47 en el área de influencia de paisaje.

De acuerdo con los resultados obtenidos se identifica que las unidades de paisaje de mayor representatividad corresponden a las unidades UP25 Lomas de uso agropecuario, UP27 Lomas con bosques y UP31 Lomas con vegetación secundaria. En el área de influencia del medio socioeconómico estas corresponden a: UP25 Lomas de uso agropecuario (3.898,10 ha) con un 37,04%, UP27 Lomas con bosque (1.669,66 ha) con un 15,87%, y UP31 Lomas con vegetación secundaria (978,00 ha) con un 9,29%.

Por su parte en el área de influencia de paisaje las UP de mayor representatividad son: UP25 Lomas de uso agropecuario (2.551,04 ha) con un 35,44%, UP27 Lomas con bosques (842,15 ha) con un 11,70%, y UP31 Lomas con vegetación secundaria (802,94 ha) con el 11,15% y UP1 Colinas de uso agropecuario (671,55 ha) con el 9,33%.

En cuanto a los atributos del paisaje el territorio presenta una cuenca visual mayoritariamente media (60,53% en el área de influencia de paisaje), en cuanto a la calidad visual representada la mayor proporción del territorio en categoría media (57,07% en el área socioeconómica y 57,19% en el área de paisaje); la fragilidad media concentra la mayor proporción del territorio (66,59% en el área socioeconómica y 67,81% en el área de paisaje) donde predominan la UP25 Lomas de uso agropecuario, UP31 Lomas con vegetación secundaria, UP38 Pendientes/Escarpes con bosques y la UP15 Llanuras o Planicies de uso agropecuario, lo que indica que, en general, el paisaje presenta una capacidad de respuesta intermedia ante cambios en sus propiedades visuales: puede absorber ciertas transformaciones, pero con límites evidentes dependiendo del tipo y magnitud de intervención.

En cuanto a los elementos discordantes muestran que, tanto en el área de influencia socioeconómica como en el área de influencia del paisaje, predomina la categoría alta, lo que indica una presencia frecuente o combinada de elementos que afectan la integridad escénica (p. ej., infraestructura lineal, superficies intervenidas, taludes, suelos desnudos o procesos erosivos visibles). La cual abarca el 6.125,29 ha (58,20%) del área de influencia del medio socioeconómico y 4.548,65 ha (63,18%) en el área de influencia del paisaje donde predominan la UP25 Lomas de uso agropecuario, UP31 Lomas con vegetación secundaria y la UP1 Colinas de uso agropecuario.

La correspondencia cromática presenta tanto en el área de influencia socioeconómica como en el área de influencia del paisaje una predominancia media de los elementos discordantes con el carácter general del paisaje. El área socioeconómica representa 6.282,50 ha (59,70%) y el área de paisaje representa el 4.650,21 ha (64,60%) representa con mayor

representatividad la UP25 Lomas de uso agropecuario, UP31 Lomas con vegetación secundaria y la UP1 Colinas de uso agropecuario.

En el área socioeconómica, la integridad escénica presenta en su mayoría una categoría moderada concentra en 6.281,81 ha (59,69%) y en el área de influencia del paisaje alcanza 4.649,52 ha (64,59%) en donde predominan la UP25 Lomas de uso agropecuario, UP31 Lomas con vegetación secundaria y la UP1 Colinas de uso agropecuario.

El capítulo identifica y describe sitios de interés paisajístico reportados por las comunidades, principalmente asociados a:

- Cuerpos de agua y cursos hídricos (río Nus, quebradas y charcos con función recreativa, de encuentro social y, en algunos casos, uso religioso para bautismos), localizados en veredas como Guacharacas, Guacas Abajo y otros sectores rurales del área de influencia.
- Morros y elevaciones utilizados como miradores y lugares recreativos (por ejemplo, áreas altas cercanas a veredas rurales donde se realizan actividades de esparcimiento y contemplación del paisaje).
- Infraestructuras comunales y deportivas (canchas, trapiches, casetas comunales y coliseos) que actúan como nodos de reunión y articulación social, destacando el coliseo de El Diluvio, el cementerio de Cristales y espacios comunales en Cristales, Providencia y veredas aledañas.

La percepción del paisaje se documenta mediante encuestas aplicadas por unidad territorial, cuyos resultados se integran al nivel de interés y a la identificación de sitios de uso paisajístico, confirmando el peso de los cuerpos hídricos y morros rurales como principales referentes paisajísticos, junto con una relevancia creciente de espacios construidos de fácil acceso.

Con base en la combinación de calidad visual, fragilidad, integridad escénica, escala visual, nivel de interés y percepción comunitaria, el capítulo establece una zonificación del valor paisajístico para el área de influencia de paisaje.

Esta zonificación identifica sectores con valor paisajístico alto, medio y bajo, ubicando las mayores concentraciones de valor y sensibilidad en unidades de lomas y pendientes boscosas (como UP27 y UP38) y en lomas agropecuarias y vegetación secundaria de amplia visibilidad (UP25 y UP31), principalmente en las veredas Guacas Abajo, Guacharacas, Manizales, El Diluvio y Cristales.

## 0.5.4 SUELOS

El capítulo de suelos y uso de la tierra caracteriza detalladamente las unidades cartográficas, propiedades físico-químicas, uso actual, capacidad agrológica, uso potencial, conflictos de uso, estado de degradación y servicios ecosistémicos del componente suelo en el área de influencia del proyecto Gramalote, con base en IGAC (2007), el EIA 2015 y muestreos edafológicos de 2022.

El capítulo integra cartografía de suelos (IGAC 2007, escala 1:100.000), levantamiento detallado 1:10.000 del EIA 2015, y nuevos muestreos (22 calicatas y 279 barrenos en 2022), abarcando: unidades cartográficas, taxonomía USDA hasta subgrupo, contaminantes, infiltración, uso actual, capacidad y uso potencial, conflictos de uso, degradación y servicios ecosistémicos.

Se distinguen dos áreas correspondientes al área de influencia del componente suelo y uso de la tierra la cual abarca 703,18 ha y el área de influencia del medio abiótico con una extensión de 2.495,27 ha. Ambas se ubican en el municipio de San Roque (veredas Guacas Abajo, El Diluvio, La Linda, La María, El Iris, Peñas Azules) y en el municipio de Yolombó (vereda Guacharacas), en un ambiente de colinas medias y bajas, altitudes entre 200 y 1.100 msnm, clima cálido húmedo con 2.000–4.000 mm/año, en zonas de vida bh-T y bmh-P.

Dentro de estas áreas se cartografían cinco unidades de suelos: asociaciones Yarumal (YA), El Cinco (EC), Yalí (JD) y complejos Tarazá (TR) y Girardota (GS), además de “otras áreas” (cuerpos de agua y superficies urbanizadas).

En estas unidades se identifican como subgrupos principales: Typic Dystrudepts, Oxic Dystrudepts, Typic Eutrudepts, Vertic Humudepts (orden Inceptisol); Lithic Ustorthents y Lithic Udorthents (Entisol); Typic Udifluvents (Complejo Girardota) y Tecnosuelos asociados a intervención minera en Topacio Bajo.

En Asociación Yarumal predominan Typic Dystrudepts (30%), Oxic Dystrudepts (22%), Typic Eutrudepts (15%), Vertic Humudepts (3%), Lithic Ustorthents (20%), Lithic Udorthents (8%) y depósitos aluviales (2%). En Asociación El Cinco predominan Lithic Ustorthents (71%) y Typic Dystrudepts (29%). En Asociación Yalí predominan Oxic Dystrudepts (37%), Typic Dystrudepts (35%), Vertic Humudepts (10%), Lithic Udorthents (7%), Lithic Ustorthents (8%) y Tecnosuelos (3%). En Complejo Tarazá predominan Lithic Ustorthents (35%), Lithic Udorthents (26%), Oxic Dystrudepts (21%) y Tecnosuelos (19%) y en el Complejo Girardota se presenta Typic Udifluvents (100%).

Los perfiles descritos muestran suelos en general ácidos (pH 4,6–6,6), con texturas franco-arenosas a franco arcillo-arenosas, densidades aparentes de 1,4–2,4 g/cm<sup>3</sup>, porosidades de 11–46%, materia orgánica de 2–8% y CICE generalmente baja a moderada, con deficiencias frecuentes de fósforo, potasio y varios micronutrientes.

Se realizaron ensayos de infiltración con doble anillo en los principales subgrupos y se ajustaron al modelo de Kostiaikov, obteniéndose tasas básicas de infiltración (m<sup>3</sup>/ha/h y mm/h), con base en estas tasas y en la Resolución 865 de 2004 se clasifican en Grupo Hidrológico A los Subgrupos Typic Dystrudepts, Oxic Dystrudepts, Typic Eutrudepts, Vertic Humudepts, Lithic Ustorthents, Lithic Udorthents y Tecnosuelos presentando una alta infiltración, baja escorrentía, salvo efecto de pendiente. El subgrupo Typic Udifluvents del Complejo Girardota se categoriza en el Grupo Hidrológico B (infiltración moderada, con riesgo de encharcamientos estacionales), y los Depósito aluvial saturado en el Grupo Hidrológico D (muy baja infiltración, alta escorrentía).

El uso actual del suelo se elabora a partir de las coberturas de la tierra presentadas en este estudio, para el área de influencia del componente suelos se identifican los usos de

Ganadería, pastoreo extensivo (PEX): 1.063,33 ha (42,61%), Conservación (bosques, vegetación natural): 1.018,41 ha (40,81%), Agricultura – cultivos permanentes semi-intensivos (caña, café, pancoger): 295,59 ha (11,85%), Minería (zonas de extracción y suelos desnudos): 17,46 ha (0,70%), Asentamientos residenciales: 30,46 ha (1,22%), Infraestructura (industrial, transporte, recreación): 28,74 ha (1,15%) y Cuerpos de agua naturales: 41,29 ha (1,65%). En cuanto al área de influencia del medio abiótico esta presenta Conservación (bosques): 394,10 ha (56,04%), Pastoreo extensivo: 201,82 ha (28,70%), Agricultura (CPS): 74,29 ha (10,56%), Minería: 17,07 ha (2,43%), Asentamientos: 2,75 ha (0,39%), Infraestructura: 8,27 ha (1,18%) y Cuerpos de agua: 4,88 ha (0,69%).

Se identifican clases III, VI y VII, más cuerpos hídricos/otras áreas, en donde la Clase III corresponde a tierras con moderadas limitaciones, aptas para agricultura y ganadería tecnificada con manejo de erosión ocupando un área de 13,99 ha (1,99%) en el área de influencia del componente suelos y 208,51 ha (8,36%) en el área de influencia del medio abiótico.

Clase VI: son tierras con limitaciones muy severas, aptas solo para cultivos permanentes, sistemas agroforestales y forestales con una extensión de 481,68 ha (68,50%) en el área de influencia del componente suelos y 1.322,56 ha (53,00%) en el área de influencia del medio abiótico.

La Clase VII son tierras con limitaciones fuertemente severas, aptas solo para uso forestal y protección con una extensión de 199,84 ha (28,42%) en el área de influencia del componente suelos y 885,36 ha (35,48%) en el área de influencia del medio abiótico. En cuanto a los cuerpos hídricos y otras áreas esta ocupa un área de 7,68 ha (1,09%) en el área de influencia del componente suelos y 78,85 ha (3,16%) en el área de influencia del medio abiótico.

Dentro de cada clase se detallan subgrupos (3e-1, 3p-1, 6e-3, 6p-2, 7p-1, 7h-1, etc.) que combinan limitantes por pendiente, erosión, humedad y propiedades del suelo, y que orientan el manejo hacia sistemas agroforestales, silvopastoriles o forestales protectores según la severidad.

El uso potencial, derivado de clima, pendiente, drenaje, profundidad y fertilidad (IGAC-IDEAM 2010), muestra una clara vocación protectora, con Sistemas forestales protectores (FPR), Áreas para conservación/recuperación y recreación (CRE), Sistemas agrosilvopastoriles (ASP), Pastoreo extensivo (PEX), Cultivos Permanentes Semi-intensivos (CPS), asentamientos, transporte y cuerpos de agua ocupan áreas marginales.

El análisis del cruce entre el uso actual y el uso potencial del suelo permite identificar distintos grados de conflicto, teniendo en cuenta la descripción Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país. Capítulo IV: Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia” (CORPOICA & IGAC., 2002). Se identificó que predominan las áreas sin conflicto o con uso adecuado (A), que abarcan 394,17 ha (56,06%) en el área de influencia del componente suelos y 1.171,60 ha (46,95%) en el área de influencia del medio abiótico. Se presentan conflictos por subutilización moderada y severa (S2 y S3) en porciones muy reducidas del territorio: 0,36 ha (0,05%) y 2,26 ha (0,32%) en el área de influencia del

componente suelos, y 6,07 ha (0,24%) y 32,31 ha (1,29%) en el área de influencia del medio abiótico, principalmente en zonas con vocación productiva que hoy se mantienen bajo usos de conservación. Los conflictos por sobreutilización ligera (O1) ocupan 12,80 ha (1,82%) en el área de influencia del componente suelos y 23,55 ha (0,94%) en el área de influencia del medio abiótico, mientras que la sobreutilización moderada (O2) es más significativa, con 192,53 ha (27,38%) en el área de influencia del componente suelos y 929,24 ha (37,24%) en el área de influencia del medio abiótico, asociada sobre todo al pastoreo extensivo y a actividades mineras en suelos cuya vocación es forestal protectora. Finalmente, la sobreutilización severa (O3) comprende 101,05 ha (14,37%) en el área de influencia del componente suelos y 332,51 ha (13,33%) en el área de influencia del medio abiótico, concentrándose en laderas de clases agrológicas VI y VII donde actualmente se desarrollan ganadería y minería sobre suelos cuya vocación es de sistemas forestales protectores (FPR) o conservación/recuperación de la naturaleza (CRE).

En cuanto a los elementos y compuestos contaminantes, los metales pesados y compuestos analizados en suelos (muestras enero y noviembre 2022) se encuentran por debajo de valores de referencia de normas internacionales y regionales, como es el caso de los elementos Cd, As, Hg, Pb, Ni y Se, los cuales se encuentran por debajo de límites de Nuñez 2015, Galán & Romero 2008, TulsmA 2015, protocolo Louisiana 29B y CCME para uso agrícola/residencial.

En cuanto al Cianuro, grasas y aceites, hidrocarburos se encontraron concentraciones muy bajas; solo dos calicatas muestran hidrocarburos ligeramente superiores a 150 mg/kg, atribuibles a fuentes puntuales (minería y manejo de combustibles), pero aún dentro de rangos manejables. En comparación con EIA 2015 y MEIA 2018 se confirma que, pese al histórico uso de mercurio y cianuro en minería artesanal, los suelos se mantienen por debajo de niveles de intervención para salud humana y ecosistemas según CCME y Directiva 86/278/CEE.

La degradación del suelo se analiza a partir de procesos morfodinámicos, propiedades físicas y conflictos de uso, en dónde se identificó:

- Erosión laminar, en surcos y cárcavas, y movimientos en masa (27 deslizamientos activos y más de 287 cicatrices) se concentran en laderas escarpadas en torno al cerro Gramalote y veredas Guacas Abajo, El Diluvio, La Linda y Guacharacas.
- Compactación moderada a alta (densidades hasta 2,4 g/cm<sup>3</sup> y resistencias estimadas de 80–260 kPa) en algunos Inceptisoles y Entisoles limita aireación y desarrollo radicular, favoreciendo escorrentía.
- No se evidencian procesos significativos de salinización (CE <0,7 dS/m en todas las calicatas) ni desertificación según protocolos IDEAM/MINAMBIENTE.

En cuanto a los servicios que el suelo provee, se identificaron los de servicios de provisión, soporte, regulación y culturales:

- Provisión: soporte a ganadería extensiva, cultivos permanentes (caña, café) y cultivos de pan coger, con fertilidad moderada condicionada por acidez y disponibilidad de nutrientes.

- Soporte: retención de agua y nutrientes, soporte físico para vegetación natural (bosques, rastrojos altos) y agroecosistemas.
- Regulación: regulación hídrica (infiltración alta en la mayoría de subgrupos), amortiguación parcial de contaminantes y control de erosión donde se mantiene cobertura natural.
- Culturales: sustento de prácticas productivas tradicionales (ganadería, caña panelera) y de usos comunitarios ligados a paisajes rurales y cuerpos de agua.

### 0.5.5 HIDROLOGÍA

El capítulo de hidrología caracteriza de forma integral el régimen hídrico superficial del área de influencia del proyecto Gramalote, define caudales medios, máximos, mínimos y ambientales para el río Nus y sus principales tributarios, y evalúa indicadores de regulación, uso y vulnerabilidad hídrica de las cuencas asociadas.

El objetivo es definir el comportamiento hidrológico de las cuencas que conforman el área de influencia hidrológica de la modificación de licencia, con énfasis en las hoyas susceptibles de intervención por captaciones, vertimientos e infraestructura (río Nus, quebradas Guacas, El Topacio, El Banco, San Antonio, La Colorada, La María, El Torito y La Palestina). El alcance incluye: revisión de información hidroclimática y cartográfica, delimitación y análisis morfométrico de cuencas, determinación de caudales característicos (medios, máximos, mínimos), estimación de caudales ambientales (metodología MinAmbiente 2014 y Grecco EPM), índices de aridez, regulación, uso y vulnerabilidad hídrica, e impactos hidráulicos por crecientes.

El área se ubica en los municipios de San Roque y Yolombó (Antioquia), dentro de la cuenca del río Nus, subzona hidrográfica del río Nare (código 2308) y unidad de nivel I río Nus (2308-05), en la vertiente oriental de la Cordillera Central. La cuenca del río Nus hasta la estación Caramanta tiene 277,60 km<sup>2</sup> (área) y 50,25 km de cauce principal, con altitudes entre 2.230 y 803 msnm; la cuenca hasta el límite del área de influencia alcanza 299,34 km<sup>2</sup>, en cuanto a las cuencas de línea base tributarias principales son: El Topacio (4,06 km<sup>2</sup>), El Banco (1,76 km<sup>2</sup>), San Antonio (2,24 km<sup>2</sup>), Guacas (64,13 km<sup>2</sup>), La Colorada (2,33 km<sup>2</sup>), La María (1,13 km<sup>2</sup>), El Torito (0,27 km<sup>2</sup>) y La Palestina (15,80 km<sup>2</sup>).

Este apartado detalla los insumos espaciales usados: un modelo LiDAR 2020 de resolución 1 m para generar el MDT y red de drenaje, cartografía IGAC 1:10.000 para completar zonas sin LiDAR y, cuando fue necesario, mapas 1:25.000. Se explica que estos productos permiten delimitar las cuencas, calcular parámetros morfométricos y construir la geometría del modelo hidráulico. Así mismo, se presenta la red de estaciones IDEAM de precipitación y caudal (San Roque, Granja Exp. El Nus, Alejandría, Guayabito y Caramanta para caudales) y dos estaciones del proyecto (Providencia, Cristales) con sus coordenadas, altitudes, periodos de registro y porcentaje de datos faltantes. Se establece que esta red sustenta la estimación de lluvias, temperaturas, evapotranspiración y caudales medios y extremos.

La temperatura media identificada en el área de estudio se encuentra entre los 19,9 a 23,5 °C y precipitación media multianual de 2.216 a 4.806 mm/año, evidenciando régimen bimodal con lluvias máximas en marzo y mayo y septiembrenoviembre.

El área de influencia se estructura por un sistema lótico dominado por el río Nus y sus tributarios de margen derecha (El Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, La María, El Torito, La Palestina), con patrones de drenaje mayoritariamente dendríticos.

Las cuencas menores presentan pendientes medias de 8–18%, longitudes de cauce principal entre 1–10 km, índices de compacidad (Kc) entre 1,3–1,9 (formas de oval-redondas a oval-oblongas) e índices de sinuosidad que van de rectilíneos a transicionales, con densidades de drenajes de 8–13 km/km<sup>2</sup>.

Se identifica un cuerpo léntico antrópico (abrevadero ganadero) dentro del área de influencia, con 867 m<sup>2</sup> de espejo de agua y 0,4 m de profundidad media, más pequeñas depresiones inundables naturales en la llanura de inundación del Nus, en el ámbito subterráneo, se reconoce un sistema de recarga directa por lluvia sobre colinas y lomos del Batolito Antioqueño, recarga indirecta río-acuífero en depósitos aluviales del Nus, y flujos locales, intermedios y regionales según Tóth; las descargas se manifiestan en nacimientos y aportes base a quebradas en época seca.

El régimen hidrológico del área de influencia se caracteriza a partir de la estación Caramanta en el río Nus, donde el caudal medio multianual es 20,52 m<sup>3</sup>/s, con comportamiento claramente bimodal: mínimos en enero–febrero ( $\approx 11,9$  m<sup>3</sup>/s) y máximos en mayo y noviembre (26,19 y 25,51 m<sup>3</sup>/s), lo que se refleja en la curva de duración de caudales y confirma un sistema con excedentes hídricos y buena regulación base. A partir de las curvas de duración, los caudales medios de los tributarios sin medición (Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, La María, El Torito y La Palestina) se estiman por balance hídrico a largo plazo y transferencia desde Caramanta, obteniéndose valores promedio que van desde 0,01–0,26 m<sup>3</sup>/s en las quebradas menores hasta 5,04 m<sup>3</sup>/s en la quebrada Guacas. Los caudales máximos del Nus se ajustan mejor a una distribución LogPearson III, con Qmax de 174 m<sup>3</sup>/s (Tr=2,33 años), 260 m<sup>3</sup>/s (Tr=10), 406 m<sup>3</sup>/s (Tr=100) y 1.469 m<sup>3</sup>/s para la creciente máxima probable, mientras que en los tributarios se estiman mediante modelos lluviaescorrentía (SCS, Williams & Hann, Método racional) usando tiempos de concentración de 20–319 minutos, números de curva actualizados y curvas IDF de la estación San Roque. Los caudales mínimos del Nus se ajustan a una distribución LogGumbel, con Qmin de 8,04 m<sup>3</sup>/s (Tr=2,33) y 2,75 m<sup>3</sup>/s (Tr=100); para los tributarios se combinan ecuaciones regionales de EPM, parametrización de CORNARE y transposición desde el Nus, dando Qmin(2,33) típicos del orden de 0,036–0,268 m<sup>3</sup>/s en quebradas menores y 1,279 m<sup>3</sup>/s en la quebrada Guacas. Estos caudales medios, máximos y mínimos, coherentes entre sí y soportados por pruebas de homogeneidad, tendencia y ausencia de outliers, constituyen la base cuantitativa para la definición de caudales ambientales y la evaluación hidráulica de las cuencas del proyecto. Pearson III, con escorrentía (SCS, Williams & Hann, Método racional) usando tiempos de concentración de 20–319 minutos, números de curva actualizados y curvas IDF de la estación San Roque. Los caudales mínimos del Nus se ajustan a una distribución LogGumbel, con

Los índices de aridez, regulación, uso y vulnerabilidad muestran que el sistema hídrico del área de influencia es húmedo, bien regulado y con presión antrópica globalmente baja. El índice de aridez, calculado a partir de la relación entre evapotranspiración real y potencial, toma valores entre 0,16 y 0,21 en el río Nus y sus tributarios principales, lo que los clasifica en rangos de “excedentes de agua” o “moderado y excedentes”, coherente con precipitaciones anuales de 2.700–3.600 mm. El índice de retención y regulación hídrica (IRH), obtenido como relación entre el área bajo la curva de duración de caudales y el área total del diagrama, es 0,79 para la cuenca del Nus en Caramanta, categoría “alto”, indicando una notable capacidad de la cuenca para almacenar y regular caudales a lo largo del tiempo. El índice de uso del agua (IUA), que relaciona la demanda hídrica concesionada con la oferta disponible ( $Q_{\text{medio}}-Q_{\text{ambiental}}$ ), resulta muy bajo o bajo para casi todas las cuencas (Nus 2,71%, Guacas 1,90%, Topacio 0,5%, El Banco 0,09%, Palestina 0,74%), con una única cuenca en categoría alta (La María, 25,09%) debido a su pequeña oferta y presencia de usos concentrados. Al cruzar IUA e IRH en la matriz de vulnerabilidad, el índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH) resulta “muy bajo” o “bajo” en la mayoría de las cuencas (Nus, Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, Torito, Palestina), y solo la quebrada La María presenta vulnerabilidad “media”, lo que indica que, salvo casos puntuales, el sistema hídrico tiene buena capacidad para mantener el abastecimiento frente a las demandas actuales.

La modelación hidráulica del capítulo se centra en simular el comportamiento del río Nus y de sus principales tributarios (El Banco, San Antonio, Guacas, varios cauces menores, La Colorada, La María, El Torito y La Palestina) frente a caudales medios y eventos extremos de creciente con periodos de retorno de 2,33, 100 y 1.000 años, además de la Creciente Máxima Probable (CMP). Para ello se construyó un modelo unidimensional en HEC-RAS 6.6, usando como geometría el levantamiento LiDAR 1 m, con coeficientes de rugosidad de Manning  $n=0,035$  para el cauce del Nus,  $n=0,04$  para los tributarios y  $n=0,065$  para las planicies de inundación, e incorporando coeficientes de pérdida por contracción (0,10) y expansión (0,30) para representar transiciones de sección. Los planeamientos de caudal corresponden a los caudales medios y a los caudales máximos adoptados por cuenca (por ejemplo, Nus: 20,52 m<sup>3</sup>/s, 163,26 m<sup>3</sup>/s para  $Tr=2,33$ , 365,34 m<sup>3</sup>/s para  $Tr=100$ , 512,25 m<sup>3</sup>/s para  $Tr=1.000$  y 1.183,64 m<sup>3</sup>/s para la CMP; Guacas: 202,29–425,72–563,02–990,41 m<sup>3</sup>/s para los mismos escenarios). Los perfiles de flujo obtenidos muestran incrementos progresivos de tirante y ocupación de las planicies de inundación con el aumento del caudal, aunque en algunos tramos las diferencias entre  $Tr=1.000$  y la CMP son relativamente pequeñas debido a que, en eventos muy extremos, el flujo se expande lateralmente, aumenta el área mojada, disminuye la pendiente hidráulica efectiva y la rugosidad asociada a la vegetación densa disipa energía y limita el crecimiento adicional de la mancha. Las distribuciones de velocidad indican valores puntualmente altos en tramos confinados, con disminuciones asociadas a mayores profundidades y expansión del flujo, y las manchas de inundación generadas evidencian que la población de Providencia se encuentra dentro de las áreas potencialmente afectadas por desbordamientos para los cuatro escenarios analizados (2,33, 100, 1.000 años y CMP), lo que confirma una condición de exposición a eventos de inundación desde la línea base, independiente del proyecto.

En cuanto a la **Calidad del Agua** se realizó el monitoreo para caracterizar la calidad del agua superficial y sedimentos en los cuerpos hídricos del área de influencia del componente abiótico, con el fin de consolidar la línea base y aportar insumos para la evaluación de impactos asociados a la modificación de la licencia del proyecto Gramalote.

La evaluación contempló parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos (estos últimos se remiten al capítulo de ecosistemas acuáticos). Se programaron 43 puntos de monitoreo en agua superficial; 40 fueron efectivos y 3 no se muestrearon por encontrarse secos. Las campañas se ejecutaron en época seca (30 de diciembre de 2024 y del 03 al 25 de enero de 2025) y en época lluviosa (22 al 28 de abril del 2025 y 02 al 10 de mayo al 2025), mediante muestras puntuales. La interpretación para agua superficial contrastó resultados con criterios de usos del Decreto 1076 de 2015 (arts. 2.2.3.3.9.3 a 2.2.3.3.9.10); para sedimentos se usaron las Canadian Sediment Quality Guidelines (CCME).

En el área de influencia se reconocen actividades que pueden afectar la calidad hídrica por erosión y arrastre de sedimentos, aportes orgánicos y la incorporación de contaminantes (metales, nutrientes, hidrocarburos), destacándose el beneficio de oro en plantas no licenciadas y descargas asociadas, además de minería (aluvión y veta), ganadería, agricultura, actividades domésticas, piscicultura, transporte, entre otras.

Los parámetros in situ mostraron pH entre 5,40–7,94 (seca) y 5,09–8,11 (lluvias), con condiciones ligeramente ácidas a alcalinas; aunque se identifican puntos con pH bajo rangos para ciertos usos, al clasificar las fuentes como “agua dulce cálida” (temperaturas >20 °C en todos los puntos) el pH se reporta dentro de límites aplicables para conservación bajo esa categoría. La temperatura varió entre 20,72–29,36 °C (seca) y 21,59–27,03 °C (lluvias). En cuanto al oxígeno disuelto presentó mínimos puntuales (como 1,29 mg/L en C03 en seca) y se reportan excedencias por debajo de límites de conservación en puntos específicos según el art. 2.2.3.3.9.10.

La conductividad osciló entre 69 a 448  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (seca) y 14 a 438  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (lluvias), clasificando la mineralización entre “muy débil” y “media acentuada”, con valores más altos en AN04, C02 y B02; no se reporta límite normativo específico para este parámetro en el Decreto 1076. La turbidez superó el valor de referencia (190 NTU, conversión reportada en el documento) en varios puntos: en seca en B03, C03, C02 y B02; y en lluvias en múltiples puntos, especialmente asociados al río Nus (p. ej., N06, N07, N08, N09, N15, N16, N17), además de C03, P03, B03 y G03.

Se evidenció contaminación microbiológica generalizada: los coliformes totales superan límites para uso doméstico/recreativo en prácticamente todos los puntos, con excepción de EB02 en época seca; se destacan máximos de 19.180.000 NMP/100 mL (B02, seca) y 789.000 NMP/100 mL (C03, lluvias). En nutrientes, los nitratos generalmente cumplen, pero se registró un valor atípico en C02 (11,8909 mg N–NO<sub>3</sub>/L) en lluvias que supera límites para abastecimiento y riego indicados por el Decreto 1076.

Para cianuro, la mayoría de los puntos estuvo en niveles cercanos al límite de cuantificación, pero B02 presentó concentraciones de cianuro total (0,239 mg CN/L seca y 0,43 mg CN/L lluvias) que superan criterios para abastecimiento y riego; además, se reportan detecciones de cianuro libre en B02 y en lluvias también en B03 y C03. En metales,

el documento reporta excedencias puntuales y estacionales: en época lluviosa se superan límites para aluminio total en varios puntos (incluyendo N06, N07, N08, N09, N16, N17, P03, AN01, B02, B03 y G03); se registran excedencias para hierro y manganeso en múltiples estaciones (con énfasis en B02, B03, C02 y C03 en varias condiciones), además de excedencias puntuales para cobre, cadmio, plomo, molibdeno y plata en estaciones específicas (resaltando nuevamente B02/B03/C02/C03 en varios casos).

El Índice de Langelier fue negativo en casi todos los puntos (agua corrosiva/no saturada respecto a  $\text{CaCO}_3$ ), con excepción de B02 en lluvias con valor ligeramente positivo.

El índice de calidad del agua que emplea los parámetros de pH, conductividad, % saturación de OD, SST y DQO, mostró condiciones heterogéneas entre “mala” y “aceptable”; en época seca se clasificaron como “mala” los puntos C02 y C03 (quebrada La Colorada) y B02 y B03 (quebrada El Balsal), mientras que en lluvias se reporta “mala” en N15 (río Nus) y B03 (El Balsal).

Los índices de contaminación (ICOs) complementan el diagnóstico en dónde el ICOTRO clasificó todos los puntos como eutróficos en ambas temporadas; ICOMI evidenció mayor mineralización en época seca y persistencia de valores elevados en B02, B03, C02, C03 y LM03; ICOSUS aumentó en lluvias por SST en varios puntos (incluyendo tramos del río Nus) y mantuvo categorías muy altas en puntos asociados a altos sólidos (B03 y C03).

Para el caso de los sedimentos los cianuros (total, libre y WAD) estuvieron por debajo de límites de cuantificación en todas las muestras; no se reportan guías ISQG/PEL para cianuro en sedimentos en las referencias usadas.

Se identifican hallazgos relevantes en metales: el cobre supera ISQG en época seca en N11 y B03, y en B03 excede PEL (223,04 mg/kg), lo que sugiere potencial afectación ecológica en ese tramo; para mercurio total se reporta comportamiento crítico, con múltiples excedencias de ISQG y varios puntos excediendo PEL en ambas temporadas (incluyendo B03, G03, P06–P07 en seca y N09, N06, LM03, G03 y P06 en lluvias).

Otros metales como cromo y plomo permanecen por debajo de guías ISQG/PEL en los rangos reportados para sedimentos. A escala regional, el IACAL para la subzona hidrográfica del río Nare se ubica en categoría alta (año medio y año seco), reflejando presión sostenida sobre el sistema hídrico.

En cuanto a los **usos y usuarios del agua**, se realiza el análisis en el área de influencia del medio abiótico y del componente hidrología, calidad y usos del agua, abarcando captaciones, concesiones y vertimientos que pueden afectar la disponibilidad y dinámica del agua en las fuentes intervenidas por el proyecto.

La información integra: levantamiento de campo, EIA 2015, MEIA 2018 y respuestas oficiales de CORNARE (CS-02552-2025, CS-08148-2021) y CORANTIOQUIA (PQRSD\_160-COE2502-5646), ante el traslape con San Roque y la vereda Guacharacas (Yolombó).

Se identificó una concesión de CORNARE que se traslapa con el área de influencia abiótica y con la de hidrología, calidad y usos del agua, además de 17 concesiones adicionales en MapGis (una de ellas fuera del área de hidrología, pero dentro del área abiótica).

En CORANTIOQUIA se registró la concesión ZF1-2020-613 (0,752 L/s) sobre una quebrada sin nombre (código 20235), con usos doméstico y pecuario que solo interceptan el área abiótica.

Se destacan las licencias ambientales de Mineros La María S.A.S. y Sociedad Minera El Búcaro S.A.S., con captaciones y vertimientos autorizados en quebrada La María, río Nus y quebrada Palestina, principalmente para usos domésticos e industriales mineros.

La autoridad reporta también descargas domésticas e industriales adicionales (VERT\_1 a VERT\_7), incluyendo vertimientos de Mineros La María S.A.S. y el campo de infiltración de Vías del Nus S.A.S., ubicados en Guacas Abajo.

Con base en concesiones autorizadas y el artículo 2.2.3.2.7.6 del Decreto 1076 de 2015, los usos más solicitados en el área abiótica son: necesidades domésticas individuales (44%), agropecuarios (acuicultura y pesca) (25%), mineros (19%), generación de energía eléctrica (6%), consumo humano colectivo (3%), recreativos (3%) y generación de energía hidroeléctrica (3%). En términos de caudal, la mayor demanda concesionada corresponde a generación de energía hidroeléctrica (9.650 L/s, PCH La Cascada) y a usos agropecuarios (55,21 L/s), mientras que los demás usos suman caudales menores.

Por otro lado, se identificaron tres acueductos veredales: JAC El Iris, comunidad El Balsal y Asociación de Usuarios del Agua La Cascada–Providencia, siendo este último el único con concesión formal (COR\_5, 0,613 L/s, también codificado como ACU\_11 y U62-1C).

En campo se inventariaron 101 captaciones en el área abiótica (39 nuevas, 62 de estudios anteriores) y 48 captaciones en el área de hidrología–calidad–usos (14 nuevas, 34 ya reportadas), con codificación (ejemplo U001\_1C) y trazabilidad a usuarios EIA/MEIA.

Los usos actuales de la comunidad, según el Decreto 1076, se distribuyen así: doméstico individual (49%), consumo humano colectivo/comunitario (38%), agropecuarios (9%), mineros (3%) e industriales/recreativos ~2%, siendo los mayores volúmenes asociados a usos mineros, industriales (trapiches) y domésticos individuales. La demanda comunitaria calculada para el área abiótica suma 5,36 L/s, de los cuales 3,17 L/s corresponden a usos mineros, 0,78 L/s a usos industriales o manufactureros y 0,951 L/s a necesidades domésticas individuales.

La Demanda Hídrica Actual (DHA) se calculó sumando consumos domésticos, pecuarios, industriales, comerciales, agrícolas y otros, apoyada en datos de campo, concesiones y coeficientes de consumo (RAS 2000, ENA 2022, FAO, ICA) para humanos y ganado. El resultado total es 9.721,18 L/s, dominado por el consumo de la pequeña central hidroeléctrica (9.650 L/s en quebrada Guacas); excluyendo PCH, la demanda es 16,05 L/s en el área de hidrología–calidad–usos y 71,18 L/s en el área abiótica. Por cuencas, los mayores consumos sin contar PCH se concentran en quebrada La María (6,875 L/s), quebrada La Palestina (1,139 L/s) y río Nus (7,088 L/s, principalmente usos agropecuarios y mineros), manteniéndose demandas bajas en los cauces menores.

La demanda potencial se estimó con base en captaciones concesionadas para el proyecto (Resoluciones ANLA 0309/2016 y 0782/2019), ajustes de caudales solicitados en la presente modificación y proyecciones demográficas y de formalización minera.

Los mayores caudales proyectados asociados al proyecto son los de uso industrial no doméstico en operación (como es el uso de 23,87 L/s para Guacas, además de 20,67 L/s en varias quebradas como La Colorada, La Palestina, El Balsal, El Banco y Topacio), mientras que los valores de 549,33 L/s (La Palestina) y 72,4 L/s (La Colorada) corresponden a recirculaciones internas del balance de aguas y no a extracciones de cuenca.

La demanda potencial total por cuenca (sin contar recirculación) se estimó en 186,42 L/s, destacándose quebrada La Palestina (25,75 L/s), La María (11,93 L/s), La Colorada (21,77 L/s), San Antonio (21,34 L/s), Guacas (31,94 L/s), El Balsal y El Banco (20,67 L/s cada una) y río Nus (11,50 L/s).

Adicionalmente, la posible formalización de unidades de pequeña minería en La María, El Diluvio y Manizales podría demandar aproximadamente 0,54 L/s para uso doméstico y 7,82 L/s para uso minero/industrial.

Para Providencia se proyecta un aumento de la demanda de acueducto (0,613 L/s actuales para aproximadamente 1.200 habitantes) hacia 3,27 L/s en 2038, considerando una población estimada de 2.824 habitantes y una dotación objetivo de 100 L/hab día.

En cuanto al conflicto de usos del agua, los principales factores de conflicto actual se relacionan con vertimientos domésticos sin tratamiento, incremento de demanda doméstica, pecuaria, agrícola e industrial, disposición de residuos sólidos en cauces y captaciones múltiples sobre las mismas fuentes.

El análisis de la relación entre demanda actual y caudales mínimos por periodo de retorno muestra que, para todas las cuencas, la demanda estimada es muy inferior a los caudales mínimos, por lo que la presión cuantitativa actual sobre la disponibilidad del recurso se considera baja.

El Índice de Uso del Agua (IUA), calculado como demanda/ oferta disponible (caudal medio-caudal ecológico), indica que en río Nus, quebrada San Antonio, Guacas, Cauce 5, Cauce 9 y Torito la presión se mantiene entre “muy baja” y “baja”; en quebrada Topacio es “moderada”. Las mayores presiones potenciales se concentran en quebradas con alta participación del proyecto y de otros usos: El Balsal (IUA muy alto, 51,68%), La Colorada (42,22%), La María (43,51%), El Banco (27,27%) y La Palestina (23,48%).

No obstante, el estudio concluye que, considerando recirculación y balance interno de aguas del proyecto y el reasentamiento de veredas traslapadas (disminución de demanda doméstica local), el riesgo de conflicto severo por disponibilidad es bajo, aunque persisten condiciones de atención prioritaria en las quebradas mencionadas, donde se suman usos mineros e industriales a la demanda comunitaria.

## 0.5.6 HIDROGEOLOGÍA

Dentro de este capítulo, se presenta la caracterización hidrogeológica para el área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote con el fin de describir la dinámica del régimen de aguas subterráneas en las cercanías del proyecto y su interacción con las aguas superficiales, partiendo de la premisa de que un modelo hidrogeológico conceptual (MHC),

integra información geológica, hidrológica, hidrodinámica, hidráulica, hidrogeoquímica e isotópica para ilustrar los procesos y flujos que ocurren en las dimensiones espaciales de su dominio. A partir del MHC se construye el modelo hidrogeológico numérico (MHN), que permite simular las condiciones y comportamiento del sistema de aguas en la zona de interés, teniendo en cuenta la configuración actual del proyecto.

El área de interés está localizada en el extremo norte de la cordillera Central al nordeste del departamento de Antioquia. La unidad geológica principal en la zona del proyecto minero la constituye el Batolito Antioqueño, cuerpo intrusivo que conforma el núcleo de la cordillera Central de los Andes colombianos. En el capítulo 0.5.1 Geología se presenta toda la geología del proyecto.

El inventario de puntos de agua se llevó a cabo en dos campañas de campo, la primera realizada entre el 23 y 28 de enero, y la segunda entre el 17 y 19 de febrero del 2025. Dentro del área de influencia del medio abiótico se llevó a cabo el levantamiento de los puntos hidrogeológicos como son manantiales, aljibes y piezómetros. En total, fueron visitados 121 puntos hidrogeológicos, correspondientes a un aljibe, un reservorio artificial de agua, 67 manantiales y 52 piezómetros. De los 121 puntos verificados, se pudo realizar toma de parámetros fisicoquímicos in situ en 85 puntos que incluye parámetros con SDT, conductividad, pH, temperatura, ORP y salinidad.

La zona de estudio cuenta con 15 piezómetros distribuidos en tres unidades hidrogeológicas, cuyo objetivo es conocer la profundidad de la superficie piezométrica y sus variaciones en el tiempo. En la unidad UHG-3, correspondiente a depósitos aluviales, los piezómetros registran cotas entre 817 y 780 m s.n.m., con variaciones del nivel freático entre 2,50 y 6,78 m en las mediciones realizadas entre febrero y junio de 2025. Entre 2016 y 2018 los niveles se mantuvieron casi constantes, mientras que en 2025 se observaron incrementos asociados a los picos de precipitación registrados en la estación Providencia, especialmente en los piezómetros PZA12-03, DH-FS-315 y, de forma más gradual, en el PZA12-08.

En la unidad UHG-5, correspondiente al saprolito arenoso, las cotas piezométricas se encuentran entre 830 y 937 m s.n.m. y las variaciones en el nivel freático en 2025 oscilan entre 1,5 y 4,6 m, excepto en los piezómetros PZ4 y PZS13-12, donde las fluctuaciones son mayores (entre 10 y 28 m) debido a que sus rejillas están instaladas a mayor profundidad. Entre 2016 y 2018 los niveles fueron relativamente homogéneos, pero en las mediciones más recientes (febrero a junio de 2025) se identificaron incrementos en los piezómetros PZS12-12, PZ4 y PZS12-14 durante los meses de abril y mayo, coincidiendo con la temporada lluviosa.

Finalmente, en la unidad UHG-7, correspondiente a roca fresca fracturada, las cotas piezométricas se ubican entre 849 y 911 m s.n.m., con variaciones en el nivel estático que van de 1,5 a 9,5 m y en otros casos entre 20 y 38 m, dependiendo de la profundidad de instalación. Los datos históricos entre 2016 y 2018 muestran niveles estables sin variaciones importantes, y las mediciones realizadas entre febrero y junio de 2025 no evidencian una relación directa con el régimen de lluvias registrado en la estación Providencia.

La comparación entre los niveles piezométricos registrados durante las campañas de 2025 y los eventos de precipitación sugiere que el sistema hidrogeológico presenta un comportamiento mayormente estable frente a variaciones climáticas. A pesar de su naturaleza heterogénea y anisotrópica, evidenciada por la amplia variabilidad en los niveles estáticos, la respuesta general del acuífero ante la lluvia ha sido leve, con fluctuaciones menores a 1 m. Solo un punto, como PZ4, presentaron cambios atípicos que requieren seguimiento. En conjunto, los resultados respaldan la necesidad de continuar con el monitoreo periódico para confirmar estas tendencias y comprender mejor la dinámica del flujo subterráneo bajo distintos escenarios hidrológicos.

El agua subterránea se desplaza en la dirección de mayor a menor nivel piezométrico, las líneas de flujo son perpendiculares a las líneas equipotenciales en los medios isótropos. En términos generales, la dirección de flujo en la zona oeste del área de influencia abiótica va de sur a norte, descargando en el río Nus; mientras que en la zona este sigue una dirección este-oeste, paralela con el curso del río Nus.

Para caracterizar las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas del área de estudio, se recopiló información de diferentes pruebas hidráulicas orientadas a estimar la conductividad hidráulica (K) de los materiales, realizadas entre 2012 y 2025 por Hidrogeocol, Knight Piésold, Golder, Gramalote y Geodrill. Esta información está consignada en informes técnicos de Gramalote (2018), Golder (2020) y estudios más recientes de Geodrill S.A.S. (2025). En el marco del plan minero se proyecta el desarrollo de trece zonas de disposición, para las cuales se estimó una conductividad hidráulica entre 8,6 y 8,6E-2 m/día, con base en la granulometría y el tipo de material previsto, compuesto principalmente por limos y arenas limosas y arcillosas.

Hidrogeocol (2012) reportó seis pruebas de bombeo en piezómetros instalados en depósitos de terrazas aluviales del río Nus y de las quebradas Guacas, San Antonio y La Colorada, obteniendo una conductividad hidráulica promedio de 10,1 m/día para esta unidad. Asimismo, se dispone de información de seis pruebas slug realizadas en el suelo residual del Batolito Antioqueño y de siete pruebas de bombeo en su saprolito, que arrojaron valores promedio de 4,53E-03 m/día y 6,96 m/día, respectivamente.

Estudios posteriores incluyeron ensayos Lefranc e infiltraciones en depósitos aluviales, suelos residuales y saprolito; sin embargo, debido a su corta duración y carácter local, se priorizan los resultados de las pruebas de bombeo y slug al ser más representativos del comportamiento hidrogeológico a escala regional. En 2025, Geodrill S.A.S. realizó nuevas pruebas en la zona de la planta de beneficio, incluyendo dos ensayos Lefranc en la zona de transición (IC-IIA), con un valor promedio de 0,39 m/día; un ensayo Lefranc en roca moderadamente meteorizada, con 0,195 m/día; y once ensayos Lugeon en roca sana a levemente meteorizada, con un valor promedio de 0,0029 m/día. Adicionalmente, se obtuvo un resultado de 0,343 m/día de un ensayo Lefranc en depósitos coluviales.

Para la línea base, en el marco del Estudio de Impacto Ambiental, se llevaron a cabo 3 campañas de monitoreo y análisis de agua subterránea entre el 2012 y el 2014 con el objetivo de realizar la caracterización hidroquímica de las unidades hidrogeológicas dentro del área de influencia. Posteriormente, una vez obtenida la licencia ambiental, se realizaron otras campañas de monitoreo hidroquímico entre 2016 y 2017, con el objetivo de

caracterizar el agua subterránea en la salida de las cuencas intervenidas con las facilidades mineras, como el pit Gramalote, la presa de relaves y el material estéril. Además, en el año 2025 en el marco de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto se llevó a cabo una complementación al monitoreo hidrogeoquímico con dos campañas de monitoreo adicionales en los meses de febrero y mayo del 2025.

Los resultados obtenidos indican que, los valores de temperatura y pH se mantienen dentro de los rangos típicos para aguas subterráneas y superficiales en el área de influencia. Particularmente, el pH indica aguas que varían entre ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas, sin evidencias claras de procesos intensos de acidificación. Los valores de conductividad eléctrica registrados indican un grado de mineralización que varía entre bajo y moderado en la mayoría de los puntos monitoreados.

En manantiales y piezómetros, los valores se sitúan en rangos similares; no obstante, en términos generales, los piezómetros tienden a mostrar valores ligeramente más altos. Esta diferencia sutil sugiere una mayor interacción agua-roca y tiempos de residencia algo más prolongados en el sistema subterráneo. Sin embargo, algunos piezómetros ubicados generalmente en depósitos aluviales o saprolito, se caracterizan por presentar conductividades eléctricas bajas ( $<150 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), semejantes a las observadas en manantiales, lo que sugiere recarga reciente y tiempos de tránsito reducidos.

Las aguas subterráneas, presentan valores de oxígeno disuelto que evidencian un patrón coherente con el origen y grado de evolución esperado: los manantiales presentan, en general, concentraciones elevadas ( $>4 \text{ mg/l}$ ), indicativas de recarga reciente y tiempos de tránsito cortos, mientras que los piezómetros y el aljibe generalmente exhiben niveles más bajos ( $<5 \text{ mg/l}$ ), compatibles con una mayor interacción con materia orgánica o mayores tiempos de residencia en el subsuelo.

La mayoría de los puntos de monitoreo, incluyendo aguas superficiales, manantiales y piezómetros, muestran una composición química dominada por bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) como anión principal, lo cual indica una influencia predominante de recarga y una baja evolución hidrogeoquímica.

La variación en la composición catiónica y los valores de conductividad eléctrica permite inferir distintos grados de evolución hidrogeoquímica en las aguas subterráneas monitoreadas. Las facies bicarbonatadas sódicas, asociadas a bajas conductividades, reflejan condiciones de recarga reciente y escasa interacción con el medio geológico. En cambio, las aguas con predominio de calcio o sin un catión dominante, identificadas especialmente en piezómetros, muestran una mineralización levemente mayor, indicando procesos de disolución mineral y posiblemente tiempos de residencia ligeramente más prolongados en el medio subterráneo.

A partir de monitoreos isotópicos, fue posible comprobar que el agua lluvia en el área de influencia sigue el principio de cantidad en cuanto a su concentración relativa de isótopos ambientales, ya que, se identificaron empobrecimientos en deuterio y oxígeno 18 durante las épocas de lluvia y enriquecimiento del agua lluvia en estos dos isótopos durante las temporadas más secas. No existen en el área de influencia fuentes de agua en las que se evidencien procesos de evaporación, ya que, todos los resultados de concentraciones

relativas de deuterio y oxígeno 18 en los puntos de monitoreo coinciden con la línea meteórica mundial.

Con los resultados obtenidos, es posible determinar que existe una relación directa del agua lluvia con las aguas superficiales en el área de influencia, ya que, la composición isotópica de las aguas superficiales responde inmediatamente a cambios en la composición isotópica del agua lluvia. Los flujos de aguas subterráneas en el área de influencia son originados por la precipitación reciente, y tienen un tiempo de residencia en el medio subterráneo muy bajo, prueba de ello es la coincidencia de la marca ponderada de la precipitación con la marca isotópica del agua subterránea y los bajos tiempos estimados según la datación con el tritio.

Luego de analizar los valores promedio de la composición isotópica del agua subterránea y del agua lluvia (deuterio y oxígeno 18), y realizar una comparación con el ciclo anual de isótopos recolectados en los totalizadores, fue posible determinar, que la mayor recarga de agua lluvia hacia el medio subterráneo se da en el periodo septiembre – noviembre.

Las zonas de recarga de agua subterránea presentan una altura estimada entre 900 y 1500 msnm, es decir la recarga sucede principalmente en la misma zona, lo que es concordante con las conductividades eléctricas encontradas en las aguas subterráneas, relativamente bajas, y por ende con la hipótesis de flujos de agua subterránea con cortos tiempos de residencia en el medio subterráneo.

La UHG-1 corresponde a los depósitos antrópicos existentes y los que se construirán en el marco del plan minero, incluyendo llenos antrópicos, ZODMES, depósitos de estériles, la presa de arranque, presa de arenas y el depósito de colas. Estos materiales presentan una composición heterogénea con conductividades hidráulicas que varían ampliamente, desde valores altos asociados a materiales gruesos hasta valores bajos en materiales compactados o finos.

La UHG-2 agrupa los depósitos coluviales y de flujo, compuestos por suelo y bloques transportados por gravedad. Se trata de materiales recientes, no consolidados y con buena capacidad de almacenamiento, pero con baja continuidad lateral y permeabilidades moderadas a bajas. Los parámetros fisicoquímicos medidos en manantiales asociados indican aguas de baja mineralización y tiempos de residencia cortos.

La UHG-3 corresponde a los depósitos aluviales de ríos y quebradas, que presentan espesores bajos y granulometría fina a limosa. Su porosidad primaria les permite almacenar y transmitir agua, aunque su continuidad lateral es limitada. Los datos fisicoquímicos muestran condiciones de baja mineralización y circulación rápida, mientras que las pruebas de bombeo reportan una conductividad hidráulica promedio de 10,1 m/día.

La UHG-4 reúne el suelo residual del Batolito Antioqueño, caracterizado por texturas limo-arcillosas que limitan la permeabilidad. Su espesor varía según las condiciones topográficas y puede ser removido en zonas de ladera y valles. Las pruebas slug indican una conductividad hidráulica muy baja ( $4,5E-03$  m/día), confirmando su comportamiento como acuitardo. Los parámetros hidroquímicos reflejan aguas poco mineralizadas y tiempos cortos de residencia.

La UHG-5 corresponde al saprolito del Batolito Antioqueño, que presenta granulometrías arenosas y limo-arenosas, lo cual le confiere buena capacidad de transmisión y almacenamiento de agua. Se considera un acuífero regional confinado que se recarga desde unidades superiores, especialmente en valles donde la capa arcillosa ha sido erosionada. Las pruebas de bombeo reportan una conductividad hidráulica promedio de 6,96 m/día. Los datos hidroquímicos indican ligeros incrementos de mineralización frente a unidades más superficiales, sugiriendo mayor interacción roca-agua.

La UHG-6 representa la zona de transición entre saprolito y roca meteorizada moderadamente. Se caracteriza por un medio mixto entre matriz granular y roca fracturada, con un potencial hidrogeológico medio que disminuye con la profundidad. Presenta baja mineralización y corta residencia de agua. Las pruebas Lefranc realizadas en esta unidad indican una conductividad hidráulica promedio de 0,57 m/día.

Finalmente, la UHG-7 corresponde al basamento rocoso constituido por rocas intrusivas fracturadas. Su capacidad de almacenar y transmitir agua depende del grado de fracturamiento y conectividad entre fracturas, aunque suele ser limitada debido al relleno de fracturas con minerales arcillosos. Las aguas asociadas presentan mineralización moderada y tiempos de residencia cortos, y los ensayos Lugeon indican una conductividad hidráulica promedio de 0,0023 m/día, reflejando un acuífero de baja permeabilidad.

A partir de la configuración de la red de flujo establecida, se estima que los acuíferos se recargan directamente de las lluvias principalmente a través de las zonas planas y de la misma zona de colinas y lomos. Igualmente pueden tener cierta recarga de los cauces mayores como es el caso del Río Nus en relación con la UHG-3 – Depósitos aluviales, cuya recarga es indirecta hacia las aguas subterráneas y viceversa según la época hidrológica. Las zonas de recarga se presentan hacia las colinas altas, en las rocas pertenecientes a las Unidades del Batolito Antioqueño. Los sistemas de flujos en el sector están conformados por flujos locales para el acuífero aluvial, coluvial y flujos e intermedios y regionales para el acuitardo de los suelos residuales del Batolito Antioqueño.

La descarga de estos acuíferos libres y no confinados (cubiertos) se hace hacia superficie (aquellos que están por encima del nivel más bajo del terreno) originando los cauces menores.

A partir del análisis de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación con la metodología DRASTIC, se evidencia que las mayores vulnerabilidades se concentran en los sectores occidental y oriental del área de influencia. Estas zonas corresponden a áreas con niveles freáticos someros y presencia del acuífero aluvial, condiciones que, sumadas a la alta recarga, incrementan el riesgo de contaminación. En contraste, la zona central muestra vulnerabilidad baja a muy baja, asociada a niveles freáticos más profundos, lo que proporciona mayor protección frente a la infiltración de contaminantes.

A partir del Modelo Hidrogeológico Conceptual del proyecto, se realiza el Modelo Hidrogeológico Numérico para el área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote mediante el programa FEFLOW con el fin de dar respuesta a preguntas específicas relacionadas con

el sistema modelado, ya sea para el entendimiento del sistema en estado natural o en condiciones alteradas bajo acciones externas, como intervenciones antrópicas o cambios ambientales.

La construcción de la malla se realiza directamente en FEFLOW conformada por 326.508 Nodos, 647.325 elementos finitos (EF) y 1'300.340 bordes. El tamaño de los EF resultantes varía entre 345 m en las zonas más distantes a las áreas de refinamiento y 15 m en las zonas directas de refinamiento, permitiendo representar un modelo multiescalar anidado. La optimización de la malla busca obtener formas ideales, que suavice los ángulos y que permita una mejor conexión entre los nodos con fines de estabilidad numérica y eficiencia computacional.

Las fronteras utilizadas para el modelo construido constituyen fronteras físicas del sistema hidrogeológico y están conformadas por la frontera No Flow que representaría las celdas del mallado donde el modelo no opera, donde no hay flujo dentro o fuera de la celda, la frontera Flow Transfer asociado a los drenajes sencillos de las quebradas El Topacio, La Negra, La Linda y Cauce 233, así como los nodos al interior de los polígonos que definen los drenajes dobles del río Nus y de la quebrada Guacas.

La calibración, realizada con datos piezométricos de 15 piezómetros, cuatro manantiales y variaciones de almacenamiento derivadas de GRACE, permitió ajustar parámetros como conductividad hidráulica, recarga y conductancias de drenajes, logrando una alta correlación entre valores observados y simulados. La calibración transitoria incorporó variaciones trimestrales de recarga y ajustes del almacenamiento específico, reproduciendo adecuadamente fluctuaciones centimétricas de nivel. En el escenario prospectivo (2029–2038) se incluyeron el Pit, depósitos de estériles, stockpiles, TMF y un túnel de decantación mediante condiciones de frontera y modificación de materiales, mostrando que los descensos en la capa freática superficial son locales y no se propagan regionalmente, mientras que a mayor profundidad se presenta despresurización sin afectar acuíferos someros. Los caudales hacia el Pit varían entre 70 y 292 l/s, estabilizándose alrededor de 200 l/s al final del proyecto; los flujos hacia el túnel permanecen por debajo de 5 l/s. Se estiman infiltraciones potenciales desde depósitos superficiales, siendo mayores en WRF, stockpiles y el contrafuerte de arenas. El análisis de impacto sobre manantiales indica afectación potencial solo en M108 y M109, mientras que en la cuenca de la quebrada Guacas las reducciones de caudal superficial y subterráneo serían menores al 1%, valores que pueden ser compensados por el canal de desvío proyectado. En conjunto, el modelo demuestra que la influencia del desarrollo minero es local, controlada por el almacenamiento profundo y sin afectación significativa a los sistemas de agua superficial ni al nivel freático regional.

### **0.5.7 GEOTECNIA**

El área de proyecto se desarrolla sobre el Batolito Antioqueño y sus productos de meteorización (horizontes residuales y saprolitos), cubiertos localmente por depósitos coluviales, aluviales y de flujo, que controlan la respuesta geotécnica de taludes, vías, presas y plataformas.

La zonificación geotécnica del área abiótica muestra predominio de la Zona III (estables moderadamente dependientes) con 75,85% del área y Zona II (estables poco dependientes) con 22,10%, mientras que las zonas I (estables independientes) y IV (muy dependientes) suman menos del 2%.

Se cartografiaron 27 deslizamientos activos tipo rotacional de poca profundidad, concentrados principalmente en laderas escarpadas sobre suelos residuales del batolito, incluyendo sectores de la vereda El Iris y las inmediaciones de quebrada Guacas, en cuanto a las cicatrices de deslizamiento con 287 con buena cobertura vegetal, que evidencian antiguos movimientos en masa hoy inactivos, cuyo potencial de reactivación depende del manejo de laderas y cambios en drenaje y carga.

El paisaje presenta intensa dinámica erosiva: erosión laminar, en surcos y cárcavas (con densidad alta hacia cerro Gramalote por minería artesanal), procesos de terraceo por sobrepastoreo en laderas suaves, socavación lateral en quebradas tributarias del río Nus y zonas de sedimentación activa en fondos de valle.

En cuanto a la amenaza sísmica, se identifica que el área de estudio se ubica en un contexto sismo-tectónico influenciado por fallas activas dentro de un radio de 200 km, con registros de sismicidad histórica e instrumental significativa en Antioquia (p.ej., evento de 10 de abril de 1911 en Yarumal).

Los análisis probabilísticos de amenaza sísmica (UHRS con  $V_{s30} = 800$  m/s) indican niveles de amenaza compatibles con la normativa nacional y los estudios previos del proyecto, y se emplean para definir coeficientes sísmicos en los análisis pseudoestáticos de presas, depósitos, taludes de vías y plataformas.

Dentro de la información del estudio geotécnico se ejecutó una campaña extensa de exploración (sondeos, calicatas, geofísica sísmica y SPT), diferenciada por zonas: sedimentador La Colorada, sistema vial, planta principal, plataformas menores, depósitos ZODME, depósitos de estériles y sector Valle El Balsal, además de un análisis integrado de base de datos 2013–2025. En el sistema vial se realizaron 468 pruebas SPT y 19 líneas sísmicas de 100–120 m de longitud, obteniendo parámetros de rigidez y resistencia para horizontes aluviales, coluviales y residuales, y evaluaciones de colapsabilidad y potencial de licuación.

En la planta principal se perforaron 21 sondeos (hasta 59,25 m de profundidad) y se complementó con cinco perforaciones a percusión de campañas anteriores, definiendo la secuencia de horizontes IV–VI y parámetros de diseño (cohesión, ángulo de fricción, módulos, peso unitario, consolidación, colapso) acordes con la NSR-10.

Se obtuvieron parámetros específicos de suelos y macizos rocosos para presas de sedimentadores, depósitos ZODME y depósitos de estériles, incluyendo análisis de licuación con métodos de Bray & Sancio (2006) e Idriss & Boulanger (SPT), y clasificación de riesgo de taludes y estructuras según Hawley & Cuning (2017).

Así mismo, se desarrollaron análisis de estabilidad para taludes de la presa del sedimentador La Colorada, vías, plataformas, ZODME, depósitos de estériles y sedimentadores El Banco y San Antonio, bajo condiciones estáticas, pseudoestáticas

(diferentes periodos de retorno) y, en el caso de depósitos y presas principales, escenarios post-pico y de desembalse rápido.

En la presa del sedimentador La Colorada se evaluaron factores de seguridad para etapas de construcción, operación (condición de nivel normal y crecientes máximas) y escenarios extremos (fallo del vertedero), junto con análisis de presiones de poros, deformaciones y criterios de desempeño; los resultados cumplen los factores de seguridad objetivos establecidos en lineamientos internacionales para presas de relaves y sedimentadores.

Para las vías y plataformas se definieron factores de seguridad objetivo según tipología y criticidad, y se obtuvieron factores de seguridad acordes o superiores a los mínimos requeridos en condiciones estáticas y sísmicas, complementados con sectorización detallada de tratamientos (drenaje superficial y profundo, subdrenes, muros en suelo reforzado, enrocados, conformación de bermas y control de escorrentía).

En los depósitos ZODME y de estériles (incluyendo San Antonio y El Balsal) los análisis en operación máxima y cierre muestran factores de seguridad compatibles con los rangos de diseño, incluso en escenarios sísmicos y post-pico, con recomendaciones específicas de tratamientos geotécnicos, drenaje interno y controles de nivel freático.

En cuanto a la capacidad de carga y asentamientos para fundaciones superficiales y profundas se realizaron evaluaciones en las principales estructuras (vertedero de excesos del sedimentador La Colorada, obras de planta principal, tanques CIP y depósitos), definiendo capacidades admisibles condicionadas por cortante y deformaciones (módulos de balasto vertical y horizontal por horizonte), así mismo, los resultados indican que, con los sistemas de cimentación propuestos (zapatas, losas y pilas donde corresponde) y los parámetros de diseño adoptados, se satisfacen los factores de seguridad y límites de asentamientos de servicio fijados para la etapa de factibilidad.

## 0.5.8 ATMOSFERA

El componente atmósfera se desarrolla conforme al Decreto 1076 de 2015 y los términos de referencia para Estudios de Impacto Ambiental para proyectos de explotación minera, describiendo meteorología, fuentes de emisión, niveles de calidad del aire, modelación y condiciones de ruido y vibración en el área de influencia del proyecto.

La caracterización **meteorológica** del área de influencia del proyecto Gramalote presenta un clima templado-húmedo de montaña, construido a partir de series IDEAM (Granja Experimental El Nus, Alejandría, Guayabito) y de las estaciones propias Providencia y Cristales. Las temperaturas medias diarias se sitúan, según estación y altitud, en rangos aproximados de 21–24 °C, con máximas usuales entre 28–35 °C y mínimas entre 10–18 °C, mostrando baja amplitud térmica anual y un patrón controlado por el gradiente altitudinal más que por estaciones marcadas. La precipitación presenta un régimen bimodal típico andino, con dos periodos lluviosos principales y valores medios anuales elevados, de varios miles de milímetros, lo que se refleja en altos excedentes hídricos y en una marcada influencia sobre escorrentía superficial y procesos de inestabilidad. La humedad relativa es alta durante todo el año, con promedios multianuales superiores al 80%, acompañada de nubosidad frecuente y radiación solar moderada, mientras que los vientos tienen

velocidades bajas a moderadas y patrones locales influenciados por la topografía (vientos anabáticos y catabáticos), con información detallada sintetizada en rosas de viento para Granja El Nus, Providencia y Cristales. En conjunto, el escenario climático corresponde a un ambiente muy húmedo, térmicamente estable y con vientos suaves, condiciones relevantes para la dispersión de contaminantes atmosféricos, la generación de nieblas y el comportamiento hidrológico de las cuencas asociadas al proyecto.

En cuanto a la **calidad del aire**, la línea base integra información de estudios previos (EIA 2015, MEIA 2018), campañas de monitoreo 2014–2017, 2021–2022 y una nueva campaña de calidad del aire y ruido en 2025.

El inventario de fuentes de emisión atmosférica en el área de influencia del proyecto Gramalote evidencia un predominio de fuentes difusas asociadas a las dinámicas rurales y mineras, entre las que sobresalen el tránsito vehicular sobre la Troncal Medellín–Puerto Berrío y la red de vías secundarias y veredales –en gran parte sin pavimentar– que generan emisiones de gases de combustión y resuspensión de material particulado. A estas se suman los trapiches paneleros, que utilizan principalmente biomasa y en algunos casos combustibles de baja calidad (como llantas y aceites usados), y las operaciones de minería subterránea y de pequeña escala (Mineros La María y minas informales), que aportan polvo por manejo de materiales y emisiones de equipos diésel. En las veredas agrícolas (La María, Manzales, El Iris, Peñas Azules, El Diluvio, Trinidad) se identifican además quemas a cielo abierto y disposición inadecuada de residuos sólidos por ausencia de recolección formal, lo que incrementa localmente los niveles de humo, olores y partículas finas. En los núcleos poblados de Providencia y Cristales no se registran industrias de gran escala, por lo que las emisiones se concentran en actividades comerciales y de servicios, fuentes móviles y pequeños focos fijos como trapiches y talleres, conformando en conjunto un escenario de emisiones de baja a moderada magnitud, pero espacialmente dispersas, sobre un territorio con buena capacidad de ventilación atmosférica.

Los aforos de 2022 en Providencia y Cristales muestran que las motos (incluyendo mototaxi) son la categoría dominante del tráfico, con vehículos de carga representando solo entre 1–6% del flujo horario.

En 2025 se realizaron aforos 24 h (día hábil y no hábil) en 10 puntos sobre la troncal, la vía a Cristales, la vía El Diluvio, Guacas Arriba y accesos veredales, confirmando que el transporte es la principal fuente de emisión de gases y polvo en condición sin proyecto.

En cuanto a los monitoreos de calidad del aire realizados, y los análisis históricos (2014–2017, 2021–2022) y la campaña 2025 en estaciones Palestina, Guacharacas, Trinidad, Guacas y Cristales muestra que:

- Las medias anuales de PM<sub>10</sub> son inferiores al estándar vigente de 50 µg/m<sup>3</sup> y también por debajo del valor más estricto que regirá desde 2030 (30 µg/m<sup>3</sup>) en todas las estaciones.
- Los promedios diarios y anuales de PM<sub>2,5</sub> se mantienen por debajo de los estándares diarios (50 µg/m<sup>3</sup> hasta 2017; 37 µg/m<sup>3</sup> desde 2018) y del estándar anual de 25 µg/m<sup>3</sup>, así como del valor futuro de 15 µg/m<sup>3</sup> (2030).

- Las campañas de 2021 (épocas húmeda y seca), 2022 y 2025 confirman que no se presentan excedencias normativas para material particulado, aunque se evidencia aumento relativo en estaciones cercanas a vías sin pavimento y a trapiches, sin superar límites.

En cuanto a los Gases criterio y COVs, para SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO las mediciones históricas y la campaña 2025 arrojan concentraciones por debajo de los estándares horarios, diarios y anuales establecidos en la normatividad colombiana; no se registran episodios de superación de límites en ninguna estación del proyecto, por su parte, las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) medidas en 2025 también se ubican en rangos bajos, sin indicios de contaminación relevante asociada a fuentes industriales mayores.

El capítulo incluye modelaciones que usan la información de inventario y aforos para estimar la dispersión de contaminantes en condición actual y con proyecto, identificando receptores sensibles en centros poblados y veredas. Los resultados muestran que, partiendo de una línea base con buena calidad del aire, los aportes actuales de tráfico y fuentes difusas no generan excedencias normativas en los receptores de interés, aunque se identifican aumentos relativos en corredores viales principales.

El área de influencia presenta actualmente buena calidad del aire, con niveles de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y gases criterio por debajo de los estándares vigentes y de los valores más estrictos que se aplicarán desde 2030, y un ambiente acústico principalmente condicionado por el tráfico de la troncal y vías secundarias, con cumplimiento generalizado de la norma de ruido ambiental.

Las principales presiones atmosféricas se relacionan con fuentes difusas de baja escala (vías sin pavimento, trapiches, quemas de residuos y actividades mineras y agrícolas dispersas), sin configurarse aún escenarios de deterioro significativo a escala regional.

Para el **ruido ambiental** se identificó que la principal fuente de ruido en la condición actual son las vías (troncal Medellín–Puerto Berrío y vías a Cristales y veredas), modeladas como fuentes lineales mediante la metodología NMPB-96 y la herramienta CADNAA, diferenciando días hábiles/no hábiles y periodo diurno/nocturno.

Se realizaron campañas de monitoreo en sectores D (área más cercana a la troncal y centros poblados) y B, tanto en 2022 como en 2025, usando sonómetros integradores clase 1 y clasificando los puntos según uso del suelo. En total se monitorearon 24 puntos de ruido ambiental, 12 en la campaña de 2022 y 12 en la campaña de 2025. Los puntos se ubicaron principalmente en los sectores D y B de los corregimientos de Providencia y Cristales, a lo largo de la Troncal Medellín–Puerto Berrío y en calles internas de estos centros poblados, seleccionando fachadas de viviendas, equipamientos y otros receptores sensibles cercanos a las vías principales que concentran el tráfico vehicular.

Los resultados confirman que la mayoría de los puntos cumplen con los estándares de la Resolución 627/2006 en periodos diurnos y nocturnos; las pocas superaciones puntuales se asocian a corredores con tráfico intenso o a focos locales (comercio, bares), más marcados en jornada nocturna, pero no generalizados a toda el área de influencia.

El modelo indica que en la mayoría de los receptores (usos residenciales, comerciales y servicios) los niveles de ruido se mantienen dentro de los límites de la Resolución 627 de 2006 para los periodos evaluados, aunque en fachadas inmediatamente adyacentes a la troncal se registran niveles cercanos a los máximos permitidos en horario diurno.

En cuanto a las **vibraciones**, El estudio estableció una línea base vibracional en cuatro puntos de monitoreo (Caseta Manizales, Peñas Azules, La María y Portería de visitantes), seleccionados según los TDR-13 de la ANLA para representar edificaciones y receptores sensibles expuestos a fuentes mineras y de tráfico. Las mediciones de velocidad pico de partícula (PPV) y frecuencia se analizaron con la norma DIN 4150-3:1999, comparando los registros con los límites admisibles para distintos tipos de estructuras; en los puntos Caseta Manizales, Peñas Azules y La María la totalidad o la gran mayoría de eventos se mantuvo por debajo de los umbrales, indicando ausencia de riesgo estructural en las condiciones actuales. En la Portería de visitantes, caracterizada por alto flujo de vehículos pesados en caravana, la mayoría de los registros también quedó bajo los límites, pero se identificó un evento puntual en el eje vertical que superó el valor límite para estructuras tipo 2, lo que, aunque aislado, evidencia la posibilidad de vibraciones de magnitud considerable que requerirán seguimiento en la fase de operación para evitar afectaciones en edificaciones cercanas

## 0.5.9 ECOSISTEMAS TERRESTRE

### 0.5.9.1 Flora

La caracterización de la flora terrestre en el área de influencia del proyecto abarcó dos biomas y 20 coberturas, en las cuales se registraron individuos de flora vascular terrestre destacándose Fabaceae, Melastomataceae y Rubiaceae por su riqueza y Cyatheaceae, Calophyllaceae y Urticaceae por su abundancia. Los muestreos se realizaron implementando parcelas de caracterización para las coberturas naturales y seminaturales y mediante censo forestal para las coberturas antropizadas. La mayor riqueza de flora vascular terrestre se centró en el bosque de galería y/o ripario y la vegetación secundaria alta, destacando estos por contar con mayor disponibilidad hídrica, evidenciando una dinámica de regeneración natural fuerte y una mayor complejidad estructural. Por otro lado, la mayor abundancia, se centró en los cultivos permanentes herbáceos – caña y los pastos arbolados, dominadas principalmente por especies pioneras de rápido crecimiento, adaptadas a ambientes abiertos, tolerantes a la luz y a condiciones de disturbios como el deshierbe y el pastoreo.

En la caracterización de las especies de epifitas y otros hábitos (vasculares y no vasculares), se registraron representantes de las familias Araceae, Orchidaceae, Bromeliaceae, para las vasculares, así como Arthoniaceae, Lejeuneaceae y Sematophyllaceae para las no vasculares. Las mayores riquezas y abundancias se presentaron en el bosque de galería y/o ripario, el bosque fragmentado con vegetación secundaria y las vegetaciones secundarias (alta y baja).

La caracterización de las especies de árboles, arbustos y helechos arborescentes en veda nacional y regional se realizó mediante censo forestal en todas las coberturas presentes en

el área de influencia. La familia Cyatheaceae destaca por su riqueza y abundancia. La mayor riqueza de las especies en veda se centró en el bosque de galería y/o ripario y en el bosque fragmentado con vegetación secundaria, este último presentó además la mayor abundancia. Esto evidencia coberturas con una estructura madura y una dinámica sucesional y estratificación vertical compleja que junto con una dinámica sucesional activa, favorecen reclutamiento continuo y estabilidad estructural frente a perturbaciones.

### **0.5.9.2 Fauna Terrestre**

La caracterización de fauna silvestre en el área de influencia del proyecto registró representantes de las clases Aves, Mammalia, Amphibia y Reptilia, con predominio de especies generalistas y distribución restringida, adaptadas a paisajes con distintos grados de transformación antrópica. La mayor riqueza y abundancia se concentró en el bosque de galería y las coberturas de vegetación secundaria (alta y baja), las cuales funcionan como hábitats estratégicos para refugio, alimentación y desplazamiento de la fauna, favoreciendo la conectividad ecológica. Las coberturas antrópicas (pastos, mosaicos de cultivos y cultivos permanentes) presentaron una composición dominada por especies oportunistas asociadas a ambientes abiertos y de borde.

El grupo de aves presentó la mayor diversidad, seguido por mamíferos, principalmente roedores, quirópteros y marsupiales, mientras que anfibios y reptiles estuvieron asociados principalmente a áreas con mayor disponibilidad hídrica y cobertura vegetal. Ecológicamente, las especies registradas cumplen funciones clave como dispersión de semillas, polinización, control de insectos y regulación de cadenas tróficas. La mayoría de las especies se encuentran categorizadas como de Preocupación Menor (LC) según la UICN, sin registros relevantes de endemismos ni de especies en categorías altas de amenaza, por lo que la riqueza faunística del área se considera moderada, con mayor valor ecológico en las coberturas boscosas y vegetaciones secundarias.

### **0.5.9.3 Conectividad**

En la ecología del paisaje, la conectividad ecológica es el libre movimiento de especies y el flujo de los procesos naturales que sostienen la vida en la tierra, y también se define como el grado en que el paisaje impide o facilita el movimiento entre parches con recursos (Hilty J., 2021) (Taylor P. D., 1993).

En análisis de conectividad funcional presentado en este documento evaluó los efectos potenciales del proyecto minero y sus actividades asociadas al movimiento teórico del territorio en diferentes escenarios analíticos. Se evaluó la disponibilidad actual de hábitat para las especies en el área de estudio y cómo es su movimiento potencial entre estos hábitats, teniendo en cuenta los elementos que pueden facilitar o restringir su movimiento y el costo de estos desplazamientos entre parches de hábitat. Para este análisis se definió y delimitó un área de estudio amplia teniendo en cuenta aspectos ecológicos de las especies -como el home-range- y elementos de importancia para la conectividad como parches de hábitat y áreas de especial importancia ecológica, con el fin de obtener resultados representativos sobre los posibles patrones de movilidad de las especies de

fauna en el paisaje. En este ejercicio, se modelaron especies de fauna elegidas a partir de criterios como: registros de especies en la línea base, categorías de amenaza de la especie, tipo de distribución de la especie, especies sombrilla, indicadoras, clave o bandera, información de patrones de movimiento disponible para la especie, resultado la elección de las especies modelo el tigrillo *Leopardus pardalis* y el titi gris *Oedipomidas leucopus*.

El análisis se presentó en tres escenarios analíticos con el fin de comparar la red ecológica de conectividad teórica en la actualidad, y cómo se afecta en el futuro por las obras o actividades del proyecto. Los escenarios analíticos para las condiciones sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto de esta modificación de licencia (2CPM) en dos escalas de análisis: escala regional y escala local.

La modelación tuvo en cuenta la matriz de resistencia, que es una representación del grado en el que la matriz del paisaje contribuye a facilitar o dificultar la movilidad de las especies y es la base sobre la que se definen las áreas del territorio que representan la mayor o menor resistencia al desplazamiento de las especies, identificando de manera gráfica y numérica el valor de impedancia de cada píxel en el territorio. El ráster o matriz de resistencia total resulta de la definición, calificación y ponderación de variables bióticas y abióticas que se construyen a partir de los elementos del territorio que son de importancia para la conectividad. Adicionalmente para la modelación se definen los nodos o parches de hábitat que son de importancia y que representan los elementos del paisaje que pueden ofrecer condiciones óptimas para el movimiento y el establecimiento de las especies objeto de estudio. Esta modelación se realizó con herramientas como el software Graphab 3.0 y el software Linkage Mapper, y se calcularon índices para estimar la conectividad como Probabilidad de Conectividad (PC), Delta de Probabilidad de Conectividad (dPC), fracciones de delta Probabilidad de conectividad (dPCintra, dPCiflux, dPCconnector), Índice Integral de Conectividad (IIC), delta del Índice Integral de Conectividad (dIIC), Índice de correlación de conectividad (CCor), Conectividad Equivalente (EC) y se calcularon métricas como relación entre distancia y costo.

Los resultados de las modelaciones y el análisis de estos resultados se utilizaron en la definición del área de influencia de conectividad funcional, como parte de la espacialización de los impactos a la conectividad, relacionados con los componentes del medio biótico como ecosistemas. Los resultados de los tres escenarios modelados evidencian que los escenarios con proyecto licenciado 1CPL y con proyecto de esta modificación de licencia 2CPM generan una reducción de la conectividad funcional para *L. pardalis* y *O. leucopus* respecto al estado actual (0SP). Esta reducción se evidencia en la disminución del número de nodos, del área de nodos y del número de enlaces, lo que refleja una disminución de la conectividad a escala local, sin embargo, el escenario 2CPM presenta una afectación relativamente menor en términos de área total de nodos frente al escenario 1CPL, lo que indica que el layout del proyecto del escenario 2CPM, al estar concebido como una optimización del proyecto licenciado (1CPL), permite atenuar parcialmente la pérdida de hábitat funcional dentro del área de estudio. No obstante, dicha optimización no revierte la pérdida de conectividad local respecto al estado actual, sino que reduce su magnitud en comparación con el escenario actualmente licenciado.

### **0.5.10 ECOSISTEMAS ACUATICOS**

En el área del proyecto se identifican afluentes de segundo y tercer orden correspondientes a quebradas y caños que confluyen en el río Nus. Estos ecosistemas albergan comunidades de peces, macroinvertebrados, perifiton y plancton, registradas durante el muestreo hidrobiológico en diferentes períodos hidrológicos, y que cumplen funciones clave en la regulación hídrica, provisión de hábitat y soporte trófico para fauna asociada al ecosistema intervenido. Los puntos de intervención donde se realiza la caracterización de los ecosistemas acuáticos se asocian a diferentes tipos de hábitats principalmente a Bosques, áreas Seminaturales y Territorios Agrícolas

El área de influencia del proyecto integra una red hídrica de segundo y tercer orden, compuesta por drenajes lóticos (quebradas y caños) que tributan directamente al río Nus. La caracterización hidrobiológica evidenció comunidades diversas de ictiofauna, macroinvertebrados bentónicos, perifiton y plancton, cuya estructura y abundancia responden a la variabilidad de los ciclos hidrológicos regionales evaluados. La calidad y composición de estos cuerpos de agua están intrínsecamente ligados a la matriz de paisaje circundante, dominada por coberturas de bosques, áreas seminaturales y sistemas productivos agrícolas, los cuales condicionan la oferta de hábitat y la dinámica de nutrientes en los ecosistemas.

### **0.5.11 ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS, SENSIBLES Y/O ÁREAS PROTEGIDAS**

Para los ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas, se realizó el ejercicio de los cruces cartográficos para determinar si se presentan interacciones con áreas protegidas, áreas de reglamentación especial, ecosistemas estratégicos a nivel nacional, regional o local, o áreas con prioridades de conservación. Estos cruces permitieron identificar, áreas CONPES 3680 dentro del área de influencia biótica del proyecto, donde se identificó el área de prioridad de conservación nacional denominada “bosques centro-norte San Roque”, así como áreas SINAP y RUNAP, en las que destaca la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña. Por otro lado, el cruce con los REAA permitió identificar fracciones del ecosistema de humedales y las EAA emitidas por CORNARE, presentaron áreas con alta y media importancia. Adicionalmente, no se registraron áreas SPNN, RAMSAR, OMEC ni corredores prioritarios directos.

### **0.5.12 MEDIO SOCIOECONÓMICO**

Para el medio socioeconómico se formuló un área de influencia a partir del ejercicio prospectivo de identificación y espacialización de impactos. El área se perfiló a partir de ejercicios de cartografía social cuando fueron requeridos, y sobre esta se adelantó el consiguiente ejercicio de socialización y participación de los actores sociales y autoridades pertinentes, debidamente identificados, donde se socializó información sobre el proyecto y el estudio ambiental de soporte para la solicitud de modificación de licencia, y se recibieron sus aportes para la formulación del mismo reconociendo el valor del conocimiento local en

la formulación del análisis. Este objetivo se atendió a través de cuatro momentos de acercamiento e interacción debidamente detallados.

Allende a esto, a partir de fuentes primarias y secundarias se recogió información pertinente sobre el territorio del área de influencia, compuesto por 17 unidades territoriales y debidamente caracterizado en línea con los requerimientos de los TdR-13. La información encontrada permitió valorar la dinámica poblacional, destacando la presencia de dos centros densamente poblados correspondientes con cabeceras corregimentales, y una base poblacional que se distribuye entre estos y las otras 15 localidades, todas rurales y pertenecientes a los municipios de San Roque (la mayoría) y Yolombó.

### **0.5.12.1 COMPONENTE DEMOGRÁFICO**

El territorio del área de influencia se configuró a partir de un proceso histórico determinado por la circulación entre los centros de producción minera y los centros del poder regional entre los siglos XVIII y XIX; con un desarrollo particular en la segunda mitad de este último y principios del siglo XX a razón de la cesión de áreas para la explotación mineral, que convirtieron a la zona en sitios de interés económico más allá de su condición como sitios de paso. Este elemento atrajo grupos que consolidaron el poblamiento local, en sinergia con fenómenos como el adelanto de infraestructura ferroviaria y la promoción de usos agropecuarios. Esto contribuyó al perfil actual del territorio como un área rural con centros poblados aglutinantes de actividad comercial, con una vocación productiva centrada en el sector primario de la economía (minería, agricultura de caña y ganadería).

El área de influencia se compone de 17 unidades territoriales, y está conformada por 5.869 personas, la mayoría de ellas (33,3%) pertenecientes al grupo etario entre 18 y 35 años. La población predominante es la masculina (51,8%); y en promedio la densidad poblacional es de 55,85 habitantes/km<sup>2</sup> jalonada especialmente por los centros poblados de Cristales y Providencia, al igual que por el sector Villanueva del corregimiento de Cristales, que albergan la mayor cantidad de población respecto a su área.

Los detonantes de inmigración se asocian generalmente a factores laborales, con la minería en sus distintas modalidades como elemento de atracción. La búsqueda de otros rendimientos económicos también estimuló, si bien en menor proporción y junto con otros factores familiares, la emigración de grupos familiares que se dirigieron hacia otras localidades del departamento.

Ponderando las cifras de los últimos tres años concluidos (2022, 2023 y 2024), se denota una tendencia al crecimiento vegetativo positivo a la hora de verificar la información consolidada para todas las localidades en el área de influencia.

### **0.5.12.2 COMPONENTE ESPACIAL**

Para lo que corresponde al componente espacial, en lo que refiere a los servicios públicos, en el área de influencia existen 1.762 viviendas, de las cuales 55,6% cuentan con conexión al acueducto, mientras el resto se surten de agua a partir de métodos individuales de captación. La cobertura de energía llega al 88,7%, mientras que la de alcantarillado se eleva al 40% y la recolección de residuos sólidos cubre al 68% de los hogares, si bien en términos generales se observan contrastes entre los centros poblados y las poblaciones rurales.

En cuanto a educación, en el área de influencia se reporta la existencia de 11 sedes educativas, de las cuales dos se reportan en mal estado, una en estado regular, y otras ocho en buen estado. Para asistir al sistema de salud la mayoría de la población (63,7%) accede a través del régimen subsidiado, 10,8% a través del régimen contributivo y otro 25,5% carece de afiliación. Generalmente consultan en el Centro de Salud de San José del Nus y para eventos de complejidad se dirigen a la cabecera municipal de San Roque y el de Yolombó.

A nivel comunitario y adicional a las sedes de las instituciones educativas, se reportan otros equipamientos, de los cuales dos también cumplen función educativa, 20 ofertan un escenario deportivo, 12 se asocian a escenarios recreativos, como infraestructura comunitaria se registran 16 elementos y como estructura de uso institucional se reporta uno.

En lo que corresponde a movilidad, se tiene que la circulación en el territorio cuenta con una serie de estructurantes articulados entre sí, y se dinamiza a partir de las relaciones económicas y sociales que tienen lugar en el área de influencia. Estos estructurantes parten de la vía nacional que comunica a Cisneros con Puerto Berrío, va paralelo al río Nus y atraviesa las localidades de La Trinidad, la parte baja de Guacas Abajo (incluyendo al sector El Balsal); el Centro Poblado del Corregimiento de Providencia, La María y La Linda. A la vereda Guacharacas, de Yolombó, también se accede partiendo de esta ruta, y se puede ingresar desde La Trinidad y desde el Centro Poblado del corregimiento de Providencia.

De esta ruta nacional Cisneros-Puerto Berrío se desprende otra, hacia La Linda, por el sector Caramanta, donde se ingresa por una vía carretable que recorre las veredas El Iris, El Diluvio, y Manizales, hasta que llega a un intercambio denominado La Y en el sector Villanueva, que al oriente dirige a la vereda San Joaquín, y al occidente dirige al centro poblado del corregimiento de Cristales. De este último, se desprende una ruta carretable que conecta a la vereda Peñas Azules y, hacia el cementerio, otra que comunica con la parte alta de la vereda Guacas Abajo.

Desde la parte alta de Guacas Abajo, solamente a través de un camino peatonal, se tiene conexión con la vereda Guacas Arriba. La única ruta carretable de esta localidad conecta con otra vereda en el área de influencia: La Bella, y a partir de ella, la población puede dirigirse a la cabecera municipal de San Roque, o bien a la vía secundaria que conecta con la vía nacional Cisneros-Puerto Berrío, referida en el párrafo anterior.

### **0.5.12.3 COMPONENTE ECONÓMICO**

En lo concerniente a la dinámica económica, en el área de influencia predomina el microfundio (80,1%) para lo que corresponde a la propiedad de los 789 predios reportados en la misma. La tendencia principal es que estos predios correspondan a propiedad privada, ostentada por sus habitantes. La agricultura, especialmente a partir del cultivo de caña, se erigió como la principal actividad económica, seguida de la minería a pequeña escala, con un número importante de familias que dependen de esta actividad y con segmentos productivos que han transitado hacia la formalización. La actividad turística es menor.

Respecto al mercado laboral, se observa una amplia disponibilidad de Población en Edad de Trabajar: 85% de los hombres y 83,7% de las mujeres se encuentran en este rango. De estos, la Población Económicamente Activa en hombres asciende al 59,7%, y en mujeres reporta una magnitud mucho menor, del 11,1%.

#### **0.5.12.4 COMPONENTE CULTURAL**

En cuanto al componente cultural, se observa una población con elementos inmateriales de importancia, como los saberes asociados a la agricultura y la minería, que conforman la identidad local. Adicional a ello, se contemplan saberes imbricados en el proceso histórico del territorio, ligados a la medicina tradicional a partir del uso de plantas, al igual que un repertorio de tradición oral fuertemente vinculado al espacio habitado. También, destaca la profesión del catolicismo como componente de la configuración cultural local.

En lo que corresponde a elementos materiales de importancia, destacan cuatro polígonos ligados a estaciones del Ferrocarril de Antioquia, todos amparadas bajo la denominación de Bien de Interés Cultural en el ámbito nacional; y por demás, en el proceso histórico han surgido referentes territoriales como los sitios de encuentro comunitario, escuelas, iglesias, las mayorías de las fincas que propiciaron el poblamiento del territorio, y otros elementos naturales como charcos en los afluentes hídricos que se articulan en torno al río Nus.

La configuración del paisaje actual se encuentra determinada por décadas sucesivas de explotación de este a partir de la ganadería, la agricultura, y la caña, al igual que por la disposición de redes ferroviarias que, si bien actualmente se encuentran en desuso, continúan ejerciendo un rol como referentes en el imaginario del territorio. Esta situación se contrasta con la disposición de zonas no intervenidas, conservadas debido a su topografía, y el crecimiento de la adecuación de áreas de uso residencial.

#### **0.5.12.5 COMPONENTE POLÍTICO-ORGANIZATIVO**

Los conflictos actuales se ven dinamizados por diversos factores, entre ellos las actividades económicas existentes en las cuales se introducen cambios en uso del suelo, el paisaje y la contratación de mano de obra. La presencia de GCL en especial por los procesos de reasentamiento y de formalización que adelanta, también es un factor de conflicto actual.

En el territorio se evidencia una tendencia hacia la asociatividad comunitaria, con Juntas de Acción Comunal operativas en todas las localidades del área de influencia salvo en La Linda y Guacharacas. Adicional a ello se identifican esquemas asociativos para lo que corresponde a la productividad, especialmente a partir de la minería y la producción de panela de la caña.

#### **0.5.13 SERVICIOS ECOSISTEMICOS**

En la modificación de licencia ambiental se identifican 23 servicios ecosistémicos (provisión, regulación, soporte y culturales) para aproximadamente 5.869 habitantes en 16 veredas y sectores de vereda. Alta dependencia comunitaria en agua, leña, frutas silvestres y plantas medicinales; dependencia media del proyecto en agua, aprovechamiento forestal (996,67 ha) y emisiones. La mayoría de SSEE (16/23) son estables; decrecientes: agua, paisaje y

calidad de aire por actividades mineras (descapote, vertimientos, emisiones PM10/PM2.5). Impactos mayoritarios moderados (agua, suelo, paisaje); se mitigan con planes de manejo

En dónde de acuerdo con la metodología para la valoración de las tendencias de los servicios ecosistémicos, en la Tabla 0.2 se presenta un consolidado de la clasificación para cada uno de los criterios evaluados para los servicios ecosistémicos con el número de usuarios. Los valores cualitativos asignados en cada columna representan las calificaciones arrojadas por cada uno de los criterios (dependencia de comunidades y proyecto e impacto), según las calificaciones alta (3) media (2) y baja (1); además de una calificación final que responde a la sumatoria de cada uno de los valores expresados para cada servicio ecosistémico y da como resultado la tendencia del servicio ecosistémico.

Tabla 0.2 Características de los SSEE del área de influencia del proyecto

SSEE identificado	Usuarios del SSEE (Número de personas)	Dependencia de las comunidades del SSEE (alta, media o baja)	Calificación de la dependencia sobre el SSEE	Calificación del Impacto sobre el SSEE	Tendencia del SSEE (creciente, estable o decreciente)
Agua	5.869	Alta	Media	Alta	Decreciente
Leña/Madera	5.869	Alta	Media	Media	Estable
Frutas silvestres	5.869	Alta	Media	Media	Estable
Semillas o alimentos	5.869	Alta	Media	Media	Estable
Plantas medicinales	5.869	Alta	Baja	Media	Estable
Pesca	5.869	Media	Media	Media	Estable
Caza	5.869	Baja	Baja	Media	Estable
Paisaje	5.869	Alta	Media	Alta	Decreciente
Arena y roca	5.869	Alta	Baja	Media	Estable
Energía	5.869	Baja	Baja	Ninguno	Creciente
Biomasa (compostaje)	5.869	Alta	Baja	Ninguno	Estable
Control de erosión	5.869	Media	Media	Media	Estable
Protección Fuentes Hídricas	5.869	Media	Media	Media	Estable
Calidad Aire	5.869	Media	Media	Alta	Decreciente
Regulación del clima	5.869	Media	Media	Media	Estable
Regulación hídrica y depuración del agua	5.869	Media	Media	Media	Estable

SSEE identificado	Usuarios del SSEE (Número de personas)	Dependencia de las comunidades del SSEE (alta, media o baja)	Calificación de la dependencia sobre el SSEE	Calificación del Impacto sobre el SSEE	Tendencia del SSEE (creciente, estable o decreciente)
Regulación de plagas y enfermedades	5.869	Media	Baja	Media	Estable
Polinización	5.869	Media	Media	Media	Estable
Fertilidad del suelo	5.869	Media	Media	Media	Estable
Actividades recreativas (turismo)	5.869	Media	Media	Media	Estable
Investigación	5.869	Baja	Baja	Ninguno	Creciente
Religiosos	5.869	Media	Baja	Ninguno	Creciente

Fuente: Integral S.A., 2026

De los 23 servicios ecosistémicos evaluados, 16 mantienen tendencia estable (8 de provisión, 7 de regulación/soporte y 1 cultural), por baja interacción del proyecto con estos recursos. Tres servicios decrecen, como son: agua (vertimientos/concesiones), paisaje (desmontes/excavaciones) y calidad del aire (polvo/voladuras), debido a actividades mineras a cielo abierto, aunque se mitigan con planes de manejo y compensación específicos. Por otro lado, tres servicios crecen como es: energía, investigación y actividades religiosas, por consolidación territorial y desarrollo socioeconómico, sin afectación del proyecto.

En cuanto a la percepción comunitaria (encuestas a 10 años) confirma alta preocupación por cambios visuales, polvo, agua y pérdida vegetal, alineándose con las tendencias decrecientes identificadas.

## 0.6 ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

La zonificación ambiental del proyecto Gramalote organiza el área de influencia en zonas con distinta importancia, sensibilidad y uso, integrando variables del medio abiótico, biótico y socioeconómico.

Primero identifica categorías de importancia (áreas de especial significado ambiental, ecosistemas estratégicos, instrumentos de ordenamiento, áreas de recuperación, riesgo, producción económica e importancia social), destacando la presencia parcial de la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, un área de prioridad nacional de conservación y zonas de humedales, aunque sin traslape directo con las áreas de intervención del proyecto.

Luego construye una zonificación intermedia por criterios (susceptibilidad a remoción en masa, inundación, erosión, vulnerabilidad de acuíferos, conflicto de uso del suelo, complejidad estructural de coberturas, densidad poblacional, bienes culturales, rondas hídricas, etc.), asignando clases de sensibilidad (baja, media, alta, muy alta) a cada unidad espacial.

Finalmente integra estos resultados en una zonificación ambiental final que delimita unidades o zonas de manejo, diferenciando áreas con alta sensibilidad ecológica o riesgo (donde se prioriza protección, prevención y restricciones de uso), áreas de recuperación o conflicto (donde se orientan acciones de restauración y reconversión productiva) y áreas con vocación productiva y menor sensibilidad relativa, donde se concentran las infraestructuras y actividades mineras bajo medidas de manejo específicas.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 0.3 y la Figura 0.7.

Tabla 0.3 Porcentajes de ocupación de sensibilidad ambiental final en el área de influencia del proyecto

Sensibilidad ambiental	Valor	Área (ha)	Área (%)
Muy baja	1	6.047,84	57,47
Baja	2	1.364,39	12,96
Media	3	1.760,33	16,73
Alta	4	559,85	5,32
Muy alta	5	791,51	7,52
<i>Total</i>		10.523,92	100,00

Fuente: Integral S.A., 2026 por medio de la reclasificación método Jenks en ArcGIS

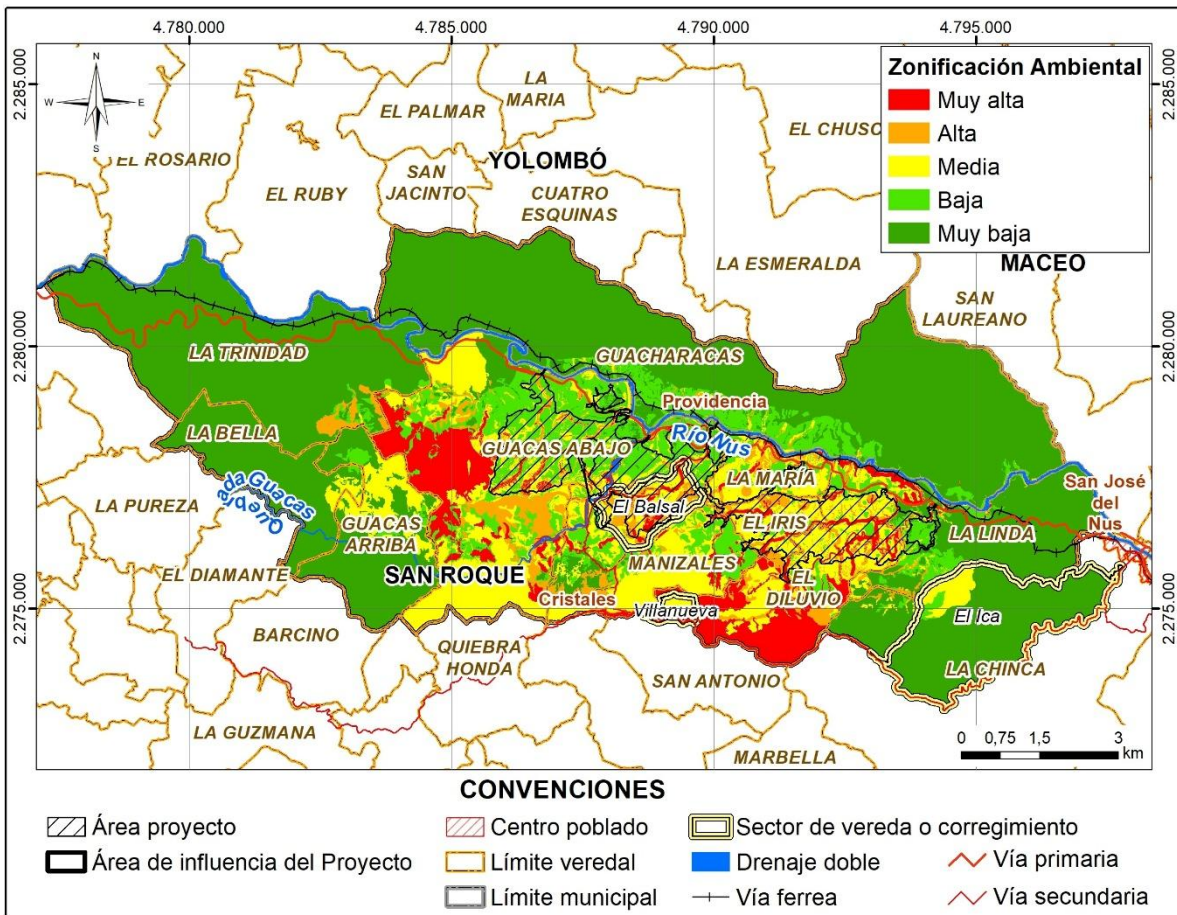


Figura 0.7 Zonificación ambiental final

Fuente: Integral S.A., 2026

## 0.7 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

En este numeral se presentan los recursos naturales que son usados, aprovechados o afectados en la ejecución de las actividades de la modificación del proyecto Gramalote y para los cuales se necesitan permisos, autorizaciones o concesiones, con el fin de contar con un soporte para la evaluación de impacto ambiental y el establecimiento de las medidas de manejo, monitoreo y seguimiento. Se hace énfasis en las captaciones de agua, fuentes de agua utilizadas para verter aguas residuales de tipo industrial y doméstico, áreas susceptibles de aprovechamiento forestal, ocupaciones de cauce existentes y fuentes de emisión.

En la Tabla 0.4 se presenta un resumen de los recursos naturales requeridos para el desarrollo del Proyecto Gramalote.

Tabla 0.4 Demanda de los recursos

Tipo de permiso	Descripción
<b>Concesiones de agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensión de tiempo del Aljibe hasta construcción y montaje</li> <li>CC5 y CC6 cambio por concesión CC22</li> <li>Solicitud de 10 nuevas concesiones CC15, CC16, CC17, CC18, CC20, CC21, CC23, CO22, CO23 y C16.</li> <li>Devolución de las captaciones C20 y CO21</li> </ul>
<b>Permisos de vertimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sies (6) cambios de condiciones y especificaciones (V16, V2, V29 y V8)</li> <li>Siete (7) cambios de etapa de uso</li> <li>Tres (3) vertimientos no presentan cambios (V21, V7 y V28)</li> <li>Dos (2) nuevos puntos de vertimiento VC16 y VC29</li> </ul>
<b>Ocupaciones de cauce</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>536 ocupación se conservan</li> <li>153 ocupaciones nuevas</li> </ul>
<b>Emisiones atmosféricas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emisión atmosférica por cargue, transporte y disposición final de materiales.</li> <li>Emisiones de área en la operación minera y emisiones de fuentes fijas</li> </ul>
<b>Aprovechamiento forestal</b>	<p>Áreas de modificación que cuenta con APF: 826,92 ha            Áreas nuevas por solicitar APF: 169,75 ha</p>

Fuente: Integral S.A., 2026

## 0.8 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Para evaluar los impactos ambientales del proyecto Gramalote en los escenarios “sin” y “con” proyecto se desarrolló la misma metodología del EIA y de la primera modificación del proyecto, correspondiente a la de Conesa-Fernández<sup>1</sup> adaptada y desarrollada mediante un panel de expertos compuesto por profesionales de los tres medios (abiótico, biótico, socioeconómico), especialistas en evaluación económica, el coordinador y el líder técnico del estudio.

Las adaptaciones realizadas a la metodología corresponden a una clasificación de sistemas y componentes ambientales diferentes a las que se establecen la guía de Conesa Fernández (2010) de tal manera que dicha clasificación se acerca a la manera como los Términos de referencia (TdR-13) y la metodología para la elaboración de estudios ambientales desglosan las características del medio ambiente y componentes ambientales (medio y componente) descritos en el capítulo 4 de dicha guía.

El Proyecto Gramalote identificó y calificó impactos para todos y cada uno de los medios, en el marco del Estudio de Impacto Ambiental (2015) y la primera modificación de la Licencia Ambiental (2019), los cuales reflejan las diferentes alteraciones que se presentarán con las actividades que se desarrollarán en el territorio.

No obstante, para la presente Modificación de la Licencia Ambiental y en atención a la circular externa No. 00002 emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA- el pasado 21 de abril de 2022, se determinó acogerse a la implementación de instrumentos técnicos en el marco del nuevo modelo de licenciamiento ambiental para

<sup>1</sup> CONESA FERNANDEZ, Vicente. 2010. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. Cuarta Edición. Madrid. 864 pp.

proyectos. En particular, se hará uso de la estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA<sup>2</sup> y sus actualizaciones<sup>3</sup>.

## 0.8.1 Evaluación sin proyecto

Para evaluar los impactos ambientales del Proyecto Gramalote en el escenario sin proyecto se identificaron un total de 165 interacciones (71 abióticos, 49 bióticos y 45 socioeconómicos) generadas por las actividades actuales en el territorio, de las cuales 11 son positivas y 154 son negativas. (véase Tabla 0.5)

Tabla 0.5 Síntesis de interacciones por medio en el escenario sin proyecto

Medio	Naturaleza		Categoría				Total
	Positivo	Negativo	Irrelevante	Moderado	Severo	Crítico	
Abiótico	0	71	18	50	3	0	71
Biótico	0	49	8	35	6	0	49
Socioeconómico	11	34	9	33	3	0	45
Total	11	154	35	118	12	0	165

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Tabla 0.6 y la Figura 0.8 se muestran los sectores que resultan más impactantes en este escenario, así como los medios más impactados por estas actividades.

Tabla 0.6 Interacciones en la calificación de impactos sin proyecto.

Actividades	Abiótico	Biótico	Socioeconómico	Total
Actividades domésticas en núcleos urbanos y vivienda dispersas	4	2	5	11
Agricultura	4	6	1	11
Beneficio del oro en plantas de beneficio no licenciadas	6	2	2	10
Extracción del material de arrastre de las playas aluviales (rio nus y quebrada palestina)	3	2	-	5
Extracción ilícita o informal de minerales	11	6	8	25
Funcionamiento de organizaciones comunitarias y productivas			2	2
Ganadería	3	6	2	11
Generación hidroeléctrica (pch)	2	2	1	5
Minería de oro (aluvión)	6	4	2	12
Minería de oro (cielo abierto-proyecto gramalote)	8	6	8	22

<sup>2</sup> ANLA 2021, disponible en: [https://www.anla.gov.co/documentos/sipta/valoracion\\_economica/17-05-2021-jerarquizacion2020\\_Junio\\_2021\\_OAJ.pdf](https://www.anla.gov.co/documentos/sipta/valoracion_economica/17-05-2021-jerarquizacion2020_Junio_2021_OAJ.pdf)

<sup>3</sup> ANLA 2023, disponible en: <https://www.anla.gov.co/images/documentos/protocolos/2024-01-16-anla-est-jerar-imp-amb.pdf>

Actividades	Abiótico	Biótico	Socioeconómico	Total
Minería de oro formalizada (veta)	11	6	8	25
Oferta de bienes y servicios			1	1
Pesca		1		1
Piscicultura	7	2	2	11
Porcicultura	3	2		5
Producción de panela	3	2	3	8
Total	71	49	45	165

Fuente: Integral S.A., 2026

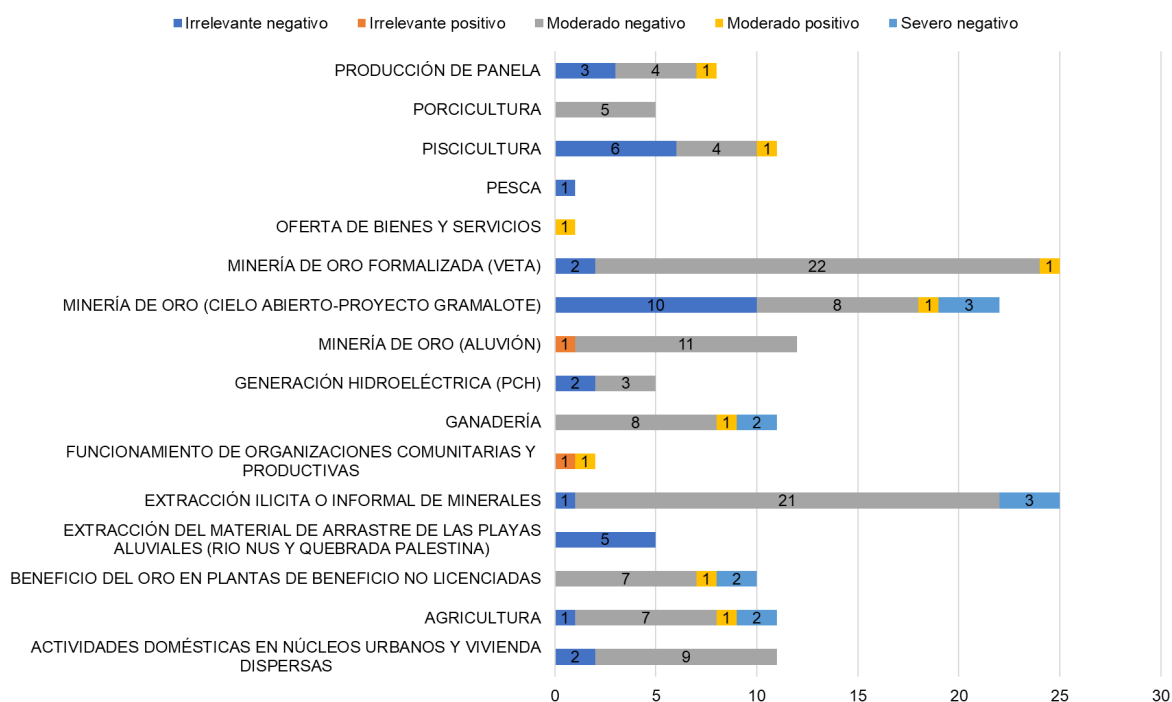


Figura 0.8 Jerarquización de calificación de impactos sin proyecto

Fuente: Integral S.A., 2026

En el escenario Sin Proyecto, la minería informal emerge como el principal foco de conflicto ambiental en el Área de Influencia del proyecto Gramalote, generando una cadena de efectos negativos sobre los componentes abióticos, bióticos y socioeconómicos del territorio. Esta actividad, caracterizada por su falta de control ambiental y medidas preventivas, interactúa sinérgicamente con otras presiones antrópicas como la ganadería extensiva y los vertimientos domésticos, exacerbando la degradación ambiental preexistente.

Para el medio abiótico se identifica que la minería informal impulsa transformaciones drásticas en el uso del suelo, donde la remoción de vegetación y la excavación desordenada alteran irreversiblemente la composición química y física de los suelos, favoreciendo procesos de erosión y pérdida de fertilidad. Su alta dependencia del recurso hídrico provoca modificaciones morfológicas en los cauces de quebradas y drenajes locales, generando sedimentación excesiva y cambios en los patrones de flujo, mientras que los procesos de lavado y lixiviación contaminan el agua superficial con sedimentos, metales pesados y compuestos químicos, agravados por la sinergia con aguas negras y escorrentías ganaderas. En la atmósfera, la maquinaria obsoleta y las prácticas de quema emiten partículas, gases y compuestos volátiles que deterioran la calidad del aire, sumándose al ruido continuo de motores y explosiones que fragmenta el ambiente sonoro natural.

En cuanto al medio biótico, la conversión directa de coberturas boscosas y vegetación nativa en áreas de explotación minera desencadena la fragmentación de ecosistemas terrestres, aislando parches de hábitat y afectando la conectividad ecológica esencial para especies emblemáticas de la región andina. Las comunidades de flora sufren pérdida directa de individuos y alteración de procesos regenerativos, mientras que la fauna local experimenta desplazamientos forzados, reducción de presas disponibles y aumento de mortalidad por colisión con infraestructura temporal; especies sensibles como felinos medianos y roedores endémicos ven comprometidas sus condiciones de vida. Paralelamente, la contaminación hídrica permea a los ecosistemas acuáticos de las quebradas intervenidas, donde macroinvertebrados bentónicos y peces de agua dulce enfrentan descensos poblacionales por toxicidad y sedimentación, rompiendo cadenas tróficas y servicios ecosistémicos como la purificación natural del agua.

Por último, el medio socioeconómico se identificó que, aunque la minería informal actúa como motor económico temporal al generar empleo y flujo de dinero en veredas remotas, introduce dinámicas disruptivas como la migración de personal foráneo —principalmente jornaleros sin arraigo local— que trae consigo valores culturales externos, incrementa la presión sobre servicios básicos y genera tensiones sociales por competencia laboral y disputas territoriales. Las molestias cotidianas por ruido persistente, polvo y percepción visual de degradación ambiental erosionan la calidad de vida de residentes, fomentando desconfianza hacia actividades extractivas. Complementariamente, el desarrollo inmobiliario mediante parcelaciones ilegales transforma suelos rurales en lotes urbanos especulativos, elevando valores catastrales y desplazando usos tradicionales, mientras la expansión ganadera convierte áreas de preservación en potreros extensivos sacrificando bosques altoandinos por pastos mejorados, tensionando la vocación ecológica del territorio. Finalmente, la mera presencia del proyecto Gramalote formal amplifica un conflicto socioambiental estructural, donde mineros informales compiten con operaciones reguladas, comunidades a reasentar temen por su patrimonio cultural y vecinos perciben riesgos acumulativos en movilidad y acceso a recursos; este entramado de percepciones divergentes sobre la actividad minera se gestiona mediante diálogos participativos, intervención estatal y protocolos de transparencia que abordan cada fase del proyecto con enfoques situacionales centrados en derechos humanos.

## 0.8.2 Evaluación con proyecto

Para el escenario con proyecto se identificó un total de 158 impactos (83 abióticos, 52 bióticos y 23 socioeconómicos), generadas por las actividades del proyecto evaluadas para la modificación de licencia ambiental, de las cuales 2 son positivas y 156 son negativas (véase Tabla 0.7)

Tabla 0.7 Síntesis de interacciones por medio en el escenario sin proyecto

Medio	Naturaleza		Categoría				Total
	Positivo	Negativo	Irrelevante	Moderado	Severo	Crítico	
Abiótico	2	81	43	39	1	0	83
Biótico	0	52	10	42	0	0	52
Socioeconómico	0	23	3	20	0	0	23
Total	2	156	56	101	1	0	158

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Tabla 0.8 y la Figura 0.9 se muestran las actividades que resultan más impactantes en este escenario, así como los medios más impactados por estas actividades.

Tabla 0.8 Interacciones en la calificación de impactos con proyecto.

Etapa	Actividad	Abiótico	Biótico	Socioeconómico	Total general
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de obras hidráulicas	3	2		5
	Transporte y acarreos	2	1	2	5
	Operación de casinos, oficinas y campamentos	3	2		5
	Preparación de concretos y agregados	4	2		6
	Construcción, operación y mantenimiento de vías	2	3	2	7
	Desmante		4	3	7
	Adecuación, operación y mantenimiento de zonas de depósito	5	2	2	9
	Construcción, operación y mantenimiento de obras civiles	6	2	2	10
	Descapote	6	3	2	11
	Excavaciones y voladuras	10	3	2	15
OPERACIÓN	Generación de energía (gas)	2			2
	Operación de estaciones de servicio	1	2		3
	Trituración Primaria	2		1	3
	Transporte y acarreos	2	1		3
	Preparación y distribución de insumos químicos para el proceso	1	2		3

Etapa	Actividad	Abiótico	Biótico	Socioeconómico	Total general
	Almacenamiento de roca	1	2	1	4
	Arranque mecánico y cargue	2	2		4
	Operación y mantenimiento de obras hidráulicas	2	2		4
	Operación de casinos, oficinas y campamentos	3	2		5
	Desmonte		4	2	6
	Operación y mantenimiento de maquinaria y equipos	4	2		6
	Adecuación y Mantenimiento de Vías Mineras	4	3		7
	Descapote	5	3	2	10
	Operación depósitos de materiales	8	2	2	12
<b>ABANDONO Y CIERRE</b>	Adecuaciones a las lagunas de sedimentación	1			1
	Desmantelamiento / Demoliciones	2			2
	Transporte y acarreo	2	1		3
<b>Total</b>		<b>83</b>	<b>52</b>	<b>23</b>	<b>158</b>

Fuente: Integral S.A., 2026

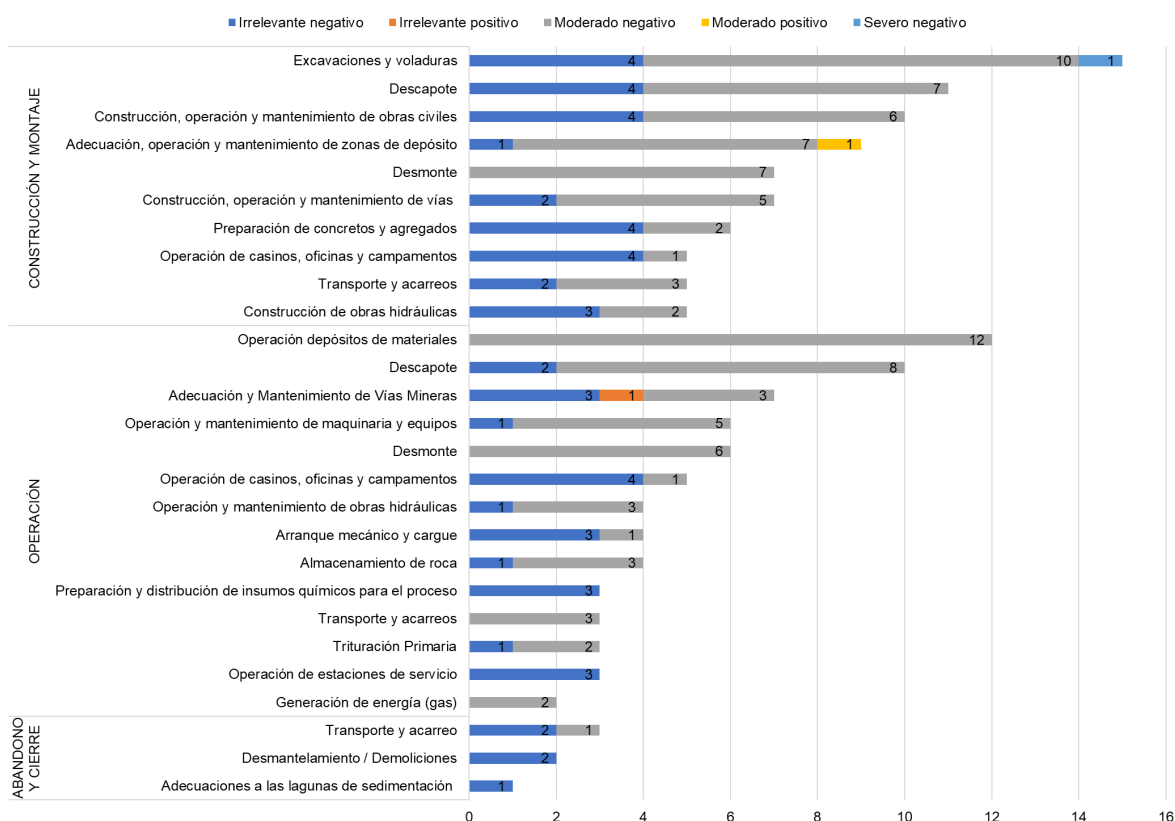


Figura 0.9 Jerarquización de calificación de impactos con proyecto

Fuente: Integral S.A., 2026

Para la presente Modificación, la etapa que genera una mayor afectación sobre el ambiente es la de construcción y montaje. La cual tiene la mayor cantidad de interacciones que se generan y dónde se identificó el impacto severo negativo, así como la mayoría de los impactos moderados. Este resultado es similar a los encontrados en el EIA, sin embargo en el EIA se identificaron un número mayor de impactos severos, lo cual difiere de este modificación toda vez que como se indicó al inicio del capítulo la evaluación se orienta exclusivamente a estimar la variación asociada a las obras objeto de ajuste y a las obras nuevas propuestas; en consecuencia, la presente evaluación no reproduce la valoración integral previamente efectuada, sino que analiza el cambio incremental (delta) respecto a los impactos valorados en el Estudio de Impacto Ambiental EIA 2015.

En general para el escenario con proyecto se identificaron 27 actividades impactantes sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico. Cada actividad, de acuerdo con su naturaleza y dinámica operativa, se asocia con un número particular de impactos potenciales. Siendo entonces la actividad de Excavaciones y Voladuras, Construcción, operación y mantenimiento de obras civiles y el descapote las de mayores interacciones,

esto debido al requerimiento de áreas nuevas de intervención y a la optimización de las obras requeridas para el proyecto.

En el medio abiótico se destacan Alteración en la calidad del sedimento y del recurso hídrico superficial continental, Alteración de la concentración de contaminantes criterio y/o sustancias tóxicas en el aire y Alteración en los niveles de presión sonora en la atmósfera, seguidos por Alteración de las condiciones geotécnicas y los componentes hidrológico y atmosférico fueron los que tuvieron un mayor número de interacciones con un total de 30 cada uno, aunque para el componente hidrológico predominaron los impactos irrelevantes, para atmósfera predominó la categoría de moderados.

En cuanto al medio biótico, en términos de recurrencia, los impactos con mayor representación correspondieron a Alteración a ecosistemas y hábitats acuáticos y Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática, seguidos por Alteración a comunidades de fauna terrestre. Los impactos asociados a ecosistemas y hábitats terrestres, estructura ecológica del paisaje y comunidades de flora presentaron menor ocurrencia (2 registros cada uno), lo que sugiere una afectación predominantemente concentrada en receptores acuáticos e hidrobiológicos dentro del conjunto de interacciones evaluadas.

Y para el medio socioeconómico, en términos de recurrencia, se destaca Alteración en la percepción visual del paisaje como el impacto con mayor número de registros, seguido por Generación o alteración de conflictos socioambientales. En menor proporción se registraron impactos asociados a actividades económicas y uso socioeconómico del suelo, mientras que accesibilidad, movilidad y conectividad local presentó la menor ocurrencia. En conjunto, los resultados evidencian que, para este medio, las interacciones se concentran principalmente en aspectos de percepción del paisaje y dinámicas socioambientales del territorio.

### **0.8.3 Evaluación económica ambiental**

Para el desarrollo de este acápite se tuvo en cuenta el contexto de la evaluación económica con la que cuenta el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, anotando que, el ejercicio es integral y transversal a los diferentes trámites que se surtan en el marco del Proyecto, toda vez que la cuantificación de los costos y beneficios ambientales se ve afectada por cada una de las modificaciones realizadas, cambios en las externalidades y sus respectivas cuantificaciones.

La evaluación económica para el presente trámite se fundamenta en los lineamientos establecidos en el manual “Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental” aprobado mediante la Resolución 1669 de 2017, (ANLA, 2017). Así como en la metodología general para la elaboración de estudios ambientales, acogida mediante Resolución 1402 de 2018. Tal y como lo plantea dicho manual, la estrategia de Evaluación Económica Ambiental se sustenta principalmente en la selección de los impactos significativos, la jerarquización de estos, su cuantificación biofísica, el análisis económico a partir de la internalización o de la valoración económica y el desarrollo del análisis costo beneficio- ACB.

Para el Análisis Costo Beneficio en el marco la modificación de la licencia ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se identificaron veinticuatro (24) impactos, de los cuales se encuentran dos (2) categorizados como irrelevante y que son excluidos del análisis (Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial y Alteración de la accesibilidad movilidad y conectividad local), mientras que veintidós (22) impactos tienen una significancia ambiental moderada y severa, es decir, que por sus características presentan una mayor probabilidad de alterar la provisión de servicios ecosistémicos en el área de interés e influir en la utilidad o bienestar de los grupos poblacionales involucrados. Sobre estos impactos se realizarán las cuantificaciones y análisis respectivos a la evaluación económica ambiental, teniendo en cuenta la mayor calificación del impacto en la evaluación ambiental.

Se muestra en la Tabla 0.9 un resumen de la condición en la que se presenta cada impacto para el actual trámite de modificación de licencia en el ejercicio de evaluación económica, considerando la homologación de impactos entre el EIA licenciado y el trámite actual, así como la inclusión en el análisis.

Tabla 0.9 Resumen jerarquización de impactos

Medio	Impacto MEIA 2026	Impacto del EIA Asociado	Inclusión en el análisis	Consideraciones
Abiótico	Alteración de las condiciones geotécnicas	Pérdida de la estabilidad del terreno	Internalizable	Impacto nuevo en el análisis de internalización
	Alteración de las condiciones geológicas	No aplica	Internalizable	Impacto nuevo en la evaluación ambiental y en el análisis de internalización
	Alteración de la geoforma del terreno	Alteración de la geoforma	Excluido del análisis	Su valoración se encuentra enmarcada en la del impacto del paisaje, tal como se refiere en la página 581 del Concepto técnico 07325 del 28 de noviembre de 2022, acogido por el Acta 875 del 30 de noviembre del 2022 de seguimiento y control. Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación
	Alteración a la calidad del suelo	-Alteración de las propiedades FQ y microbiológicas del suelo -Pérdida de suelo	No internalizable	Se valora económicamente incluyendo las metodologías de los dos impactos que se homologan. La primera aprobada por ANLA en la página 599 del Concepto técnico 6651 del 28 de octubre de 2020, acogido por el Acta 449 del 19 de noviembre del 2020 de seguimiento y control:  La segunda aprobada por ANLA en la página 584 del Concepto técnico 7325 del 28 de noviembre de 2022, acogido por el Acta 875

Medio	Impacto MEIA 2026	Impacto del EIA Asociado	Inclusión en el análisis	Consideraciones
				del 30 de noviembre del 2022 de seguimiento y control:
	Alteración en la calidad del sedimento y del recurso hídrico superficial continental	Alteración de la calidad del agua superficial	Excluido del análisis	No cambia la cuantificación biofísica con respecto al proyecto licenciado.
	Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial lacustre y/o del régimen sedimentológico	Alteración de la dinámica del agua superficial	Excluido del análisis	No cambia la cuantificación biofísica con respecto al proyecto licenciado.
	Alteración en la calidad del recurso hídrico subterráneo	Alteración de la calidad del agua subterránea	Excluido del análisis	No cambia la cuantificación biofísica con respecto al proyecto licenciado.
	Alteración en la oferta y/o disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	Alteración de la disponibilidad del agua subterránea	Internalizable	Impacto nuevo en el análisis de internalización
	Alteración de la concentración de contaminantes criterio y/o sustancias tóxicas en el aire	Alteración de la calidad del aire	No internalizable	Se conserva la metodología aprobada por ANLA en la página 588 del Concepto técnico 7325 del 28 de noviembre de 2022, acogido por el Acta 875 del 30 de noviembre del 2022 de seguimiento y control: Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación
	Alteración en los niveles de presión sonora en la atmósfera	Aumento en los niveles de presión sonora	Excluido del análisis	No cambia la cuantificación biofísica con respecto al proyecto licenciado.
	Generación de vibraciones en la atmósfera	No aplica	Internalizable	Impacto nuevo en la evaluación ambiental y en el análisis de internalización
	Alteración en los niveles de radiación en la atmósfera	No aplica	Internalizable	Impacto nuevo en la evaluación ambiental y en el análisis de internalización
Biótico	Alteración a comunidades de flora	Modificación de las poblaciones de flora	No internalizable	Se conserva la metodología aprobada por ANLA en la página 314 del Concepto Técnico 6254 de 24 de noviembre de 2015, asociado a la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2025 mediante la cual se otorgó la licencia ambiental al Proyecto. Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación
	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres	Modificación de la cobertura vegetal	No internalizable	Se conserva la metodología aprobada por ANLA en la página 602 del Concepto técnico 6651 del 28 de octubre de 2020,

Medio	Impacto MEIA 2026	Impacto del EIA Asociado	Inclusión en el análisis	Consideraciones
				acogido por el Acta 449 del 19 de noviembre del 2020 de seguimiento y control: Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación
	Alteración de la estructura ecológica del paisaje	Fragmentación de hábitats	Excluido del análisis	Su valoración se encuentra enmarcada en los impactos Alteración a comunidades de flora y Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres. No procede una valoración independiente para no incurrir en doble contabilidad, no obstante, se hace referencia en las metodologías de los impactos antes citados.
	Alteración a comunidades de fauna terrestre	-Pérdida de individuos de las poblaciones de fauna terrestre -Alteración de los servicios base de la fauna	No internalizable	Se conserva la metodología aprobada por ANLA en la página 384 del Concepto técnico 003078 del 15 de mayo de 2024, acogido por el Acta 205 del 15 de mayo del 2024 de seguimiento y control, la cual concibe una única valoración económica para la fauna y sus servicios ecosistémicos asociados. Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación.
	Alteración a ecosistemas y hábitats acuáticos	Alteración y/o modificación de hábitats acuáticos	Excluido del análisis	No se modifican los elementos que se consideraron en el análisis de internalización en el marco del proyecto licenciado.
	Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	Pérdida de individuos de flora y fauna acuática Alteración en la composición y estructura de las comunidades hidrobiológicas	Excluido del análisis	No cambia la cuantificación biofísica con respecto al proyecto licenciado.
Socioeconómico	Alteración de las actividades económicas	Cambio en las actividades productivas	No internalizable	Se conserva la metodología aprobada por ANLA en la página 233 del Concepto técnico 6651 del 28 de octubre de 2020, acogido por el Acta 449 del 19 de noviembre del 2020 de seguimiento y control: Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación

Medio	Impacto MEIA 2026	Impacto del EIA Asociado	Inclusión en el análisis	Consideraciones
	Alteración en la percepción visual del paisaje	Alteración del paisaje	No internalizable	Se conserva la metodología aprobada por ANLA en la página 426 del Concepto técnico 6651 del 28 de octubre de 2020, acogido por el Acta 449 del 19 de noviembre del 2020 de seguimiento y control: Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación
	Alteración en el uso socioeconómico del suelo	Alteración de los servicios base del suelo	No internalizable	Se conserva la metodología del impacto homologado aprobada por ANLA en la página 600 del Concepto técnico 6651 del 28 de octubre de 2020, acogido por el Acta 449 del 19 de noviembre del 2020 de seguimiento y control: Se considera la cuantificación biofísica generada por la modificación
	Generación o alteración de conflictos socioambientales	Potenciación de conflictos sociales	Excluido del análisis	No se modifican los elementos que se consideraron en el análisis de internalización en el marco del proyecto licenciado.

Fuente: Integral S.A, 2026

Una vez elaborada la valoración económica de la modificación de la licencia ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se procedió a realizar el análisis costo beneficio que corresponde al balance de beneficios y costos generados por el proyecto a la sociedad, con miras a determinar las consecuencias para la misma, a través de una evaluación ex ante de la implementación del proyecto.

Es importante resaltar que, no se formuló una valoración independiente para el presente trámite en aras de seguir en la línea de un ejercicio integral para el Proyecto, sino que, se realizó para cada uno de los impactos aplicables, la monetización de las unidades biofísicas que se generaría, con precios actualizados al año 2026. Posteriormente, se llevó al flujo de caja el valor sumado de lo que se encuentra licenciado y aprobado por la Autoridad Ambiental ANLA mediante acta 205 del 2024 y el concepto técnico 003078 del miércoles 15 de mayo de 2024 que la soporta (página 386), con la agregación del valor de la modificación, a fin de calcular los indicadores de decisión.

Por su parte, se conservan las variables del ejercicio licenciado, referido a una tasa de inflación de largo plazo igual al 4%, según las expectativas del Banco de la República y una tasa social de descuento del 12% referenciada por el Departamento Nacional de Planeación.

La Tabla 0.10 evidencia un comparativo de los resultados en el escenario licenciado y la presente modificación de licencia; asimismo, la Figura 8.8 muestran un resumen del cálculo elaborado.

Tabla 0.10 Análisis costo beneficio ambiental

Análisis Costo Beneficio Ambiental	Licenciado		Licenciado + MEIA 2026	
	Valor total	VPN	Valor total	VPN
<b>Beneficios ambientales/sociales</b>				
<i>Valoración económica de la modificación en las finanzas municipales (Regalías + Impuestos)</i>	107.401.682.821	59.707.726.873	107.401.682.821	59.707.726.873
<i>Valoración económica de la dinamización de la economía local (Generación de empleo + compras locales)</i>	519.854.908.409	281.622.033.895	519.854.908.409	281.622.033.895
<b>Total beneficios ambientales</b>	<b>627.256.591.230</b>	<b>216.921.233.666</b>	<b>627.256.591.230</b>	<b>216.921.233.666</b>
<b>VPN beneficios ambientales</b>	<b>\$ 216.921.233.666</b>		<b>\$ 216.921.233.666</b>	
<b>Costos ambientales/sociales</b>				
<i>Valoración económica de la alteración de las propiedades FQ y microbiológicas del suelo</i>	4.181.750.761	2.637.839.296	6.038.043.396	4.115.053.876
<i>Valoración económica de la alteración de los servicios base del suelo</i>	2.308.251.456	1.358.954.592	3.554.513.312	2.463.742.319
<i>Valoración económica de pérdida de suelo</i>	223.387.725	141.458.084	272.968.561	181.048.977
<i>Valoración económica de la Alteración de la calidad del agua superficial y subterránea</i>	805.477.968	8.368.152.194	805.477.968	8.368.152.194
<i>Valoración económica de la Alteración de la dinámica del agua superficial</i>	713.448.312	7.412.051.346	713.448.312	7.412.051.346
<i>Valoración económica de la Alteración de los servicios de regulación de agua</i>	47.871.949.647	20.722.673.181	47.871.949.647	20.722.673.181
<i>Valoración económica de la Alteración de la calidad del aire</i>	170.286.809	78.538.844	184.392.433	82.338.241
<i>Valoración económica del Aumento en los niveles de presión sonora</i>	2.640.502.006	1.620.209.023	2.640.502.006	1.620.209.023
<i>Valoración económica de los impactos sobre los ecosistemas acuáticos</i>	2.717.173.440	1.176.202.298	2.717.173.440	1.176.202.298
<i>Valoración económica de la modificación de la cobertura vegetal</i>	2.020.826.021	1.124.609.201	2.852.829.250	1.916.301.518
<i>Valoración económica de la Modificación de las poblaciones de flora</i>	2.902.899.459	971.572.255	3.669.233.593	1.228.056.847
<i>Valoración económica de los impactos asociados a la fauna y sus servicios ecosistémicos relacionados</i>	9.346.745.057	5.962.917.863	11.297.304.202	7.218.711.706
<i>Valoración económica de los impactos sobre el paisaje</i>	704.991.060	7.086.428.798	755.907.221	7.598.227.839
<i>Valoración económica del cambio en las actividades productivas</i>	7.347.946.366	41.712.405.999	8.462.687.768	46.714.111.425
<i>Valoración económica del desplazamiento involuntario de la población</i>	2.291.868.432	1.713.887.895	2.291.868.432	1.713.887.895
<b>Total costos ambientales</b>	<b>86.247.504.520</b>	<b>100.353.238.985</b>	<b>94.128.299.540</b>	<b>110.729.962.649</b>
<b>Flujo de caja ambiental</b>	<b>\$ 127.320.127.430</b>		<b>\$ 118.055.195.587</b>	

Fuente: Integral S.A, 2026

Los resultados evidencian un VPN del flujo de caja ambiental positivo y correspondiente a \$118.055.195.587 lo que indica que los beneficios del proyecto son mayores que los costos, por lo tanto, se acepta el proyecto y se predice que este generará ganancias en bienestar social. Por su parte, la RBC arroja un resultado equivalente a 1,96; lo cual permite ratificar que el proyecto generará bienestar social y por lo tanto se acepta su puesta en marcha.

Lo anterior indica que el balance de capital natural generado por el proyecto es positivo, y se espera que los beneficios ambientales superen a los costos ambientales en el futuro. El valor de la RBC encontrada es una predicción que debe entenderse como la mejor

aproximación sobre lo que ocurrirá en términos de bienestar social una vez que el proyecto entre en operación.

Una vez ajustado el flujo de caja, se procedió con el análisis de sensibilidad utilizando variables críticas que permiten corroborar la robustez de los resultados. En este sentido, con este análisis se logran identificar qué tan sensibles son los indicadores del proyecto (VPN y RCB) a variables tales como regalías, tasa de descuento y tiempo de vida del proyecto.

En este caso la sensibilidad se calcula con la modificación de la tasa de descuento, las finanzas municipales, la dinamización de la economía local y un escenario crítico que contempla la sumatoria de las tres condiciones anteriores más un aumento del 10% del total de los costos. No se modifica la vida útil del proyecto, debido a que este parámetro tiene un soporte técnico derivado de las reservas de material evidenciada en la fase de exploración. En la Tabla 0.11 se puede ver estos resultados y su comparación con ejercicio licenciado.

Tabla 0.11 Sensibilidad de los indicadores

Escenario	Licenciado		Licenciado + Modificación 2026	
	VPN	RCB	VPN	RCB
Escenario inicial	\$ 127.320.127.430	2,15	\$ 118.055.195.587	1,96
Disminución Tasa Social de Descuento (pasa de 12% a 10%)	\$ 152.282.362.753	2,24	\$ 142.268.302.389	2,04
Disminución de los beneficios (Reducción del 10% en las finanzas municipales)	\$ 123.525.593.445	2,12	\$ 114.260.661.602	1,92
Disminución de los beneficios (Reducción del 15% en dinamización temporal de la economía local)	\$ 100.473.743.357	1,89	\$ 91.208.811.514	1,72
Escenario crítico: Suma de tres escenarios iniciales e Incremento en un 10% en los costos	\$ 105.697.751.465	1,75	\$ 94.682.285.064	1,60

Fuente: Integral S.A, 2026

Esta condición refleja la alta incidencia de los beneficios ambientales sobre el flujo del proyecto, máxime cuando dicho valor está en relación directa al volumen de producción del proyecto y se refleja durante los 25 años de vida útil del mismo.

## 0.9 ZONIFICACIÓN DE MANEJO AMBIENTAL

A partir del análisis realizado en el capítulo 6 Zonificación ambiental, se realiza un algebra de mapas considerando el grado de sensibilidad unificada del área, así como las restricciones que deben atenderse en cada caso. Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó la propuesta de manejo que se detalla en la Tabla 0.12.

Tabla 0.12 Criterios considerados para la zonificación de manejo ambiental

Zonificación ambiental	Zonificación de manejo	Justificación
Área de sensibilidad muy alta	Área de exclusión	Áreas que presentan una sensibilidad muy alta y adicionalmente presentan un régimen especial declarado como es la RFPR La Montaña.
Área de sensibilidad muy alta	Área de Intervención con Restricción Alta	Áreas que presentan una sensibilidad muy alta y no presentan un régimen especial declarado, sin embargo, requieren tener en cuenta manejos especiales y restricciones propias acordes con las actividades y etapas del proyecto y con la sensibilidad ambiental de la zona
Área de sensibilidad alta		Áreas que presentan una sensibilidad alta y requieren de manejos especiales y restricciones propias acordes con las actividades y etapas del proyecto y con la sensibilidad ambiental de la zona.
Área de sensibilidad media	Área de Intervención con Restricción Media	Áreas que presentan una sensibilidad media y requieren de manejos especiales y restricciones propias acordes con las actividades y etapas del proyecto y con la sensibilidad ambiental de la zona.
Área de sensibilidad baja	Área de Intervención con Restricción Baja	Áreas que presentan una sensibilidad baja y requieren de manejos especiales y restricciones propias acordes con las actividades y etapas del proyecto y con la sensibilidad ambiental de la zona.
Áreas de sensibilidad muy baja	Áreas de intervención	Áreas donde se puede desarrollar el proyecto, con manejo socioambiental acorde con las actividades y etapas de este

Fuente: Integral S.A., 2026

En este proceso se utilizó ArcGIS como software de apoyo en el manejo de la información geográfica y se tuvieron en cuenta las diferentes áreas de influencia delimitadas para cada medio (abiótico, biótico y socioeconómico). Posteriormente, a partir de la zonificación de manejo ambiental procesada para cada medio en su correspondiente área de influencia, se determinó la zonificación de manejo ambiental para el área de las obras del Proyecto, utilizando el proceso de álgebra de mapas.

Los resultados de la aplicación de esta propuesta de manejo se presentan de forma resumida en la Tabla 0.13 donde se presenta el tipo de área con su correspondiente extensión y porcentaje frente al área total. En la Figura 0.10 se presenta la zonificación de manejo ambiental en el área de intervención y en el área de influencia del proyecto.

Tabla 0.13 Áreas de zonificación de manejo ambiental en el área de influencia del proyecto y en el área del proyecto (obras nuevas, obras objeto de modificación del proyecto y obras no objeto de modificación)

Tipo de área	AI_Pr (Ha)	AI_Pr (%)	Alnt (Ha)	Alnt (%)
Área de intervención	5.468,35	51,96	19,56	1,96
Área de Intervención con Restricción Baja	1.350,73	12,83	326,11	29,28
Área de Intervención con Restricción Media	1.706,89	16,22	360,92	36,12
Área de Intervención con Restricción Alta	1.351,27	12,84	292,53	29,28
Área de exclusión	646,68	6,14	0,00	0,00
Total, general	10.523,92	100,00	999,12	100,00

AI\_Pr: Área de Influencia del proyecto Gramalote, Alnt: área de intervención del proyecto (obras nuevas, obras objeto de modificación del proyecto y obras no objeto de modificación)

Fuente: Integral S.A., 2026

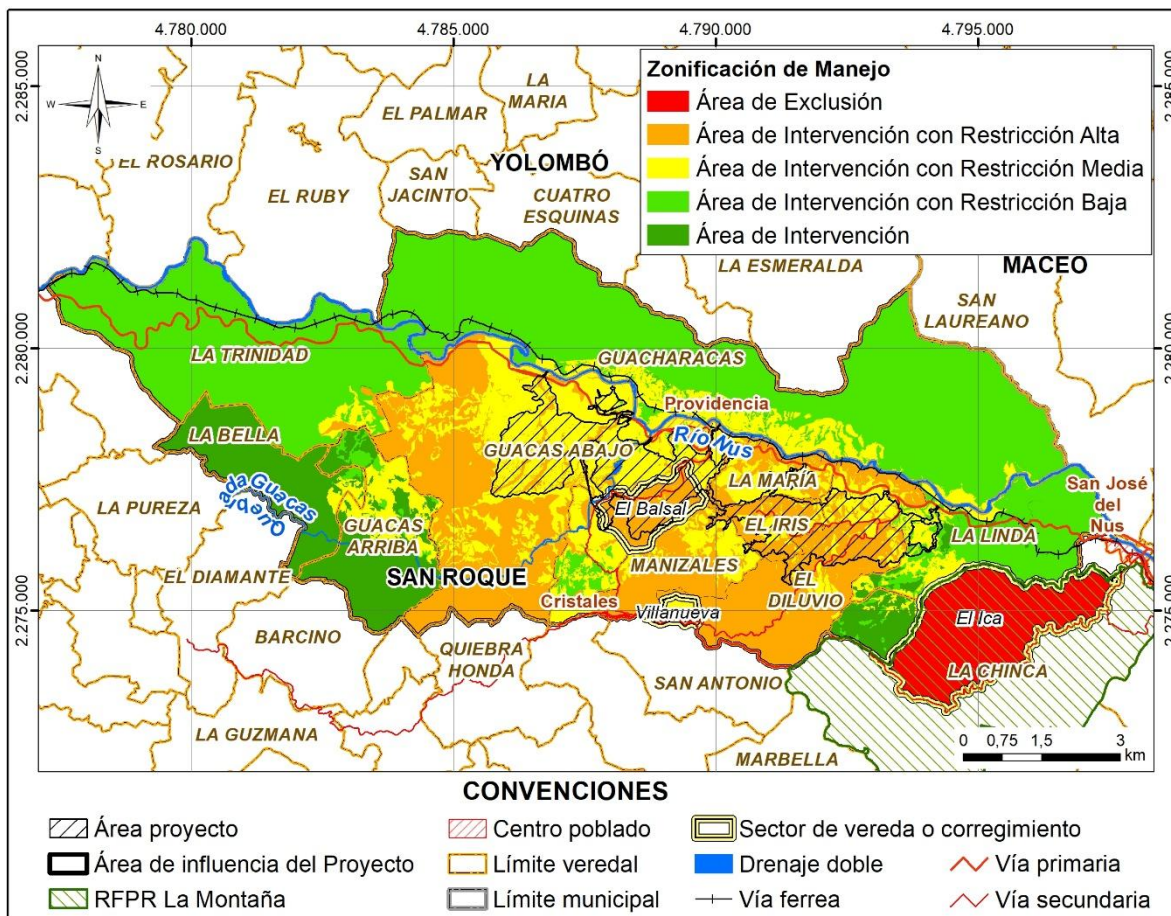


Figura 0.10 Zonificación de manejo del proyecto Gramalote

Fuente: Integral S.A., 2026

## 0.10 PLANES Y PROGRAMAS

### 0.10.1 Programas de manejo ambiental

El Plan de Manejo presenta las medidas y actividades orientadas a prevenir, mitigar y corregir los impactos significativos que pudieran generarse sobre los componentes ambientales y sociales, derivados del desarrollo de la actividad minera del proyecto Gramalote.

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación ambiental en el marco de la modificación de licencia se procedió a revisar las fichas del Plan de Manejo Ambiental acogido y aprobado por ANLA para el Proyecto Gramalote. Según la evaluación ambiental las obras objeto de Modificación de licencia no generan impactos nuevos, sin embargo, mediante la circular externa No. 00002 emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- el pasado 21 de abril de 2022, se determinó acogerse a la implementación de instrumentos técnicos en el marco del nuevo modelo de licenciamiento ambiental para proyectos. En particular, se hará uso de la estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA y sus actualizaciones. Por lo anterior, las medidas presentadas en los programas y subprogramas licenciados atienden la totalidad de los impactos que generan las obras y actividades objeto de Modificación.

Los programas presentados contienen la atención de lo solicitado por la autoridad ambiental en la licencia, a continuación, se relacionan los diferentes cambios realizados sobre el PMA en respuesta a los diferentes requerimientos realizados por la Autoridad Ambiental.

Control de cambios	Requerimiento a los que obedecen
EIA Original	Estilo asociado al EIA Original para el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote aprobado mediante Resolución 1514 de 2015 y la Resolución 0309 de 2016.
Auto 2076 de 2017	Ajustes a programas específicos de manejo, vía seguimiento
Auto 9183 de 2018	Ajustes a programas específicos de manejo, vía seguimiento
Resolución 0782 de 2019	Estilo asociado a la Modificación del EIA Original para el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote
Solicitud MEIA 2026	Estilo de cambios asociados a la solicitud de Modificación de Licencia Ambiental – MEIA

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Tabla 0.14 se presentan los programas de manejo de los medios abiótico, biótico y socioeconómico que aplican para la modificación de licencia. Además, en la Tabla 0.15 se presentan los impactos relacionados con la Modificación y el proyecto Gramalote en general acogidos.

Tabla 0.14 Listado de programas de manejo

Medio	Código	Programa de manejo
Abiótico	PMA_ABI0_01	Programa de manejo del suelo

Medio	Código	Programa de manejo
	PMA_ABIO_02	Programa de manejo de estériles y escombros
	PMA_ABIO_03	Programa de manejo del recurso hídrico
	PMA_ABIO_04	Programa de manejo del recurso aire
	PMA_ABIO_05	Programa de manejo de residuos sólidos
	PMA_ABIO_06	Programa manejo de combustibles y sustancias químicas
	PMA_ABIO_07	Programa de manejo de explosivos y voladuras
	PMA_ABIO_08	Programa de manejo de señalización
	PMA_ABIO_09	Programa de manejo del paisaje
	PMA_ABIO_10	Programa de manejo del cianuro
	Biótico	PMA_BIO_01
PMA_BIO_02		Programa de remoción de la cobertura vegetal
PMA_BIO_03		Programa de ahuyentamiento y rescate de peces
PMA_BIO_04		Programa de restauración, rehabilitación y recuperación de áreas intervenidas
PMA_BIO_05		Programa de protección y conservación de especies vegetales y faunísticas con grado de amenaza, endémicas o vedadas
PMA_BIO_06		Programa de conservación de ecosistemas naturales y de la oferta de servicios ecosistémicos
Socioeconómico	PMA_SOC_01	Programa de manejo de atención, información y participación comunitaria
	PMA_SOC_02	Programa de contratación de mano de obra local
	PMA_SOC_03	Programa de manejo de contratación de bienes y servicios
	PMA_SOC_04	Programa de capacitación y educación a la comunidad
	PMA_SOC_05	Programa de capacitación y educación a los trabajadores
	PMA_SOC_06	Programa de Reasentamiento
	PMA_SOC_07	Programa de manejo de apoyo a la gestión institucional pública y privada
	PMA_SOC_08	Programa de adquisición de predios y servidumbres
	PMA_SOC_09	Programa de manejo de la presión migratoria
	PMA_SOC_10	Programa de afectación a terceros
	PMA_SOC_11	Programa para el fomento del patrimonio cultural
	PMA_SOC_12	Programa para prevención y promoción en salud
	PMA_SOC_13	Programa de manejo de unidades sociales que no requieren ser trasladadas

Fuente: Integral S.A., 2026

Tabla 0.15 Matriz de interacciones de impactos homologados y planes de manejo ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote

Medio	Componente	Elemento /Factor	Impacto	Plan de Manejo Ambiental asociado
Abiótico	Geología	Condiciones Geológicas	Alteración de las condiciones geológicas	PMA_ABIO_01 Sub_1 PMA_ABIO_01 Sub_2 PMA_ABIO_07 Sub_2
Abiótico	Geomorfología	Geoforma	Alteración de la geoforma del terreno	PMA_ABIO_01_Sub_2 PMA_ABIO_02 PMA_ABIO_09 PMA_BIO_04
Abiótico	Geotecnia	Estabilidad del Terreno	Alteración de las condiciones geotécnicas	PMA_ABIO_01_Sub_1 PMA_ABIO_01_Sub_2 PMA_ABIO_02 PMA_ABIO_07_Sub_2
Abiótico	Suelos	Calidad del suelo	Alteración a la calidad del suelo	PMA_ABIO_01_Sub_1 PMA_ABIO_05 PMA_ABIO_06 PMA_ABIO_06_Sub_1 PMA_ABIO_06_Sub_2 PMA_BIO_04
Abiótico	Agua	Calidad del Agua superficial	Alteración en la calidad del sedimento y del recurso hídrico superficial continental	PMA_ABIO_01_Sub_1 PMA_ABIO_03_Sub_7_V 2 PMA_ABIO_05_V2 PMA_ABIO_06 PMA_ABIO_07 PMA_ABIO_08_V2 PMA_ABIO_09 PMA_BIO_04 PMA_SOC_05_V2
Abiótico	Agua	Disponibilidad del agua superficial	Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial	PMA_ABIO_03_Sub_1 PMA_ABIO_03_Sub_6 PMA_ABIO_03_Sub_9 PMA_ABIO_03_Sub_10

Medio	Componente	Elemento /Factor	Impacto	Plan de Manejo Ambiental asociado
Abiótico	Agua	Dinámica del agua superficial	Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial lacustre y/o del régimen sedimentológico	PMA_ABIO_03_Sub_1 PMA_ABIO_03_Sub_4 PMA_ABIO_03_Sub_5 PMA_ABIO_03_Sub_6 PMA_ABIO_03_Sub_9
Abiótico	Agua	Calidad del agua subterránea	Alteración en la calidad del recurso hídrico subterráneo	PMA_ABIO_03_Sub_3
Abiótico	Agua	Disponibilidad del agua subterránea	Alteración en la oferta y/o disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	PMA_ABIO_03_Sub_3 PMA_ABIO_03_Sub_6 PMA_ABIO_07_Sub_2
Abiótico	Atmósfera	Calidad del aire	Alteración de la concentración de contaminantes criterio y/o sustancias tóxicas en el aire	PMA_ABIO_02 PMA_ABIO_04_Sub_1 PMA_ABIO_05 PMA_ABIO_06 PMA_ABIO_07 PMA_ABIO_08
Abiótico	Atmósfera	Ruido	Alteración en los niveles de presión sonora en la atmósfera	PMA_ABIO_04_Sub_2 PMA_ABIO_07_Sub_2
Abiótico	Atmósfera	Vibraciones	Generación de vibraciones en la atmósfera	PMA_ABIO_07
Abiótico	Atmósfera	Luminosidad	Alteración en los niveles de radiación en la atmósfera	PMA_ABIO_04_Sub_3
Biótico	Ecosistemas	Ecosistemas terrestres	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres	PMA_BIO_01 PMA_BIO_04 PMA_BIO_05_Sub_1 PMA_BIO_05_Sub_2 PMA_BIO_06

Medio	Componente	Elemento /Factor	Impacto	Plan de Manejo Ambiental asociado
Biótico	Ecosistemas	Ecosistemas Acuáticos	Alteración a ecosistemas y hábitats acuáticos	PMA_ABIO_03_Sub_1 PMA_ABIO_03_Sub_2 PMA_ABIO_03_Sub_4 PMA_ABIO_03_Sub_5 PMA_ABIO_03_Sub_6 PMA_ABIO_03_Sub_7 PMA_ABIO_03_Sub_8 PMA_BIO_06
Biótico	Coberturas	Coberturas vegetales	Alteración de la estructura ecológica del paisaje	PMA_BIO_02 PMA_BIO_04 PMA_BIO_06
Biótico	Flora	Comunidad de flora	Alteración a comunidades de flora	PMA_BIO_04 PMA_BIO_05_Sub_2 PMA_BIO_06
Biótico	Fauna	Fauna terrestre	Alteración a comunidades de fauna terrestre	PMA_ABIO_08 PMA_BIO_01 PMA_BIO_04 PMA_BIO_05_Sub_1 PMA_BIO_06
Biótico	Fauna-Hidrobiota	Comunidades hidrobiológicas	Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	PMA_ABIO_03_Sub_1 PMA_ABIO_03_Sub_2 PMA_ABIO_03_Sub_4 PMA_ABIO_03_Sub_5 PMA_ABIO_03_Sub_6 PMA_ABIO_03_Sub_7 PMA_ABIO_03_Sub_8 PMA_ABIO_03_Sub_9 PMA_ABIO_03_Sub_10 PMA_BIO_03 PMA_BOP_06
Socioeconómico	Demográfico	Dinámica y estructura poblacional	Alteración en las variables demográficas	PMA_SOC_01 PMA_SOC_04 PMA_SOC_09 PMA_SOC_12

Medio	Componente	Elemento /Factor	Impacto	Plan de Manejo Ambiental asociado
Socioeconómico	Demográfico	Flujos migratorios	Traslado involuntario de población	PMA_SOC_01 PMA_SOC_06 PMA_SOC_07 PMA_SOC_08 PMA_SOC_12
Socioeconómico	Espacial	Servicios públicos y sociales	Alteración de la infraestructura física y social y de la disponibilidad de los servicios públicos y sociales	PMA_SOC_01 PMA_SOC_04_Sub_2 PMA_SOC_06 PMA_SOC_07 PMA_SOC_09
Socioeconómico	Espacial	Infraestructura de transporte, conectividad y estructuras civiles	Alteración de la accesibilidad, movilidad y conectividad local	PMA_ABIO_07_Sub_2 PMA_ABIO_08 PMA_SOC_01 PMA_SOC_05 PMA_SOC_06 PMA_SOC_09 PMA_SOC_10
Socioeconómico	Económico	Actividad Económica	Alteración de las actividades económicas	PMA_SOC_01 PMA_SOC_03 PMA_SOC_04_Sub_2 PMA_SOC_05 PMA_SOC_06 PMA_SOC_08 PMA_SOC_09
Socioeconómico	Cultural	Uso del Suelo	Alteración en el uso socioeconómico del suelo	PMA_ABIO_01
Socioeconómico	Cultural	Calidad Visual	Alteración en la percepción visual del paisaje	PMA_ABIO_02 PMA_ABIO_09 PMA_BIO_04 PMA_BIO_05_Sub_2 PMA_BIO_06

Medio	Componente	Elemento /Factor	Impacto	Plan de Manejo Ambiental asociado
Socioeconómico	Cultural	Patrones culturales	Alteración en el entorno cultural	PMA_SOC_01 PMA_SOC_05 PMA_SOC_06 PMA_SOC_10 PMA_SOC_11 PMA_SOC_12
Socioeconómico	Político - Organizativo	Aspectos políticos, organización y presencia institucional	Generación o alteración de conflictos socioambientales	PMA_ABIO_07_Sub_1 PMA_ABIO_07_Sub_2 PMA_SOC_01 PMA_SOC_03 PMA_SOC_04_Sub_1 PMA_SOC_04_Sub_2 PMA_SOC_05 PMA_SOC_06 PMA_SOC_07 PMA_SOC_08 PMA_SOC_09 PMA_SOC_10 PMA_SOC_11 PMA_SOC_12

Fuente: Integral S.A., 2026

## 0.10.2 Plan de seguimiento y monitoreo

El plan de seguimiento y monitoreo incluye un monitoreo a los planes y programas, los cuales tienen como propósito revisar la validez y confiabilidad del plan de manejo ambiental. En este sentido, estos programas verifican el comportamiento y la efectividad frente a los planes propuestos e identificar las oportunidades de mejora.

En la Tabla 0.16 se presentan los planes de seguimiento y monitoreo del proyecto Gramalote.

Tabla 0.16 Programas de seguimiento y monitoreo

Medio	Código	Programa de seguimiento y monitoreo
Abiótico	PSM_ABIO_01	Programa de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico
	PSM_ABIO_02	Programa de seguimiento y monitoreo de las emisiones atmosféricas, calidad del aire, vibraciones y ruido
	PSM_ABIO_03	Programa de seguimiento y monitoreo del suelo
	PSM_ABIO_04	Programa de seguimiento y monitoreo de sistemas de manejo, tratamiento y disposición de residuos sólidos
	PSM_ABIO_05	Programa de seguimiento y monitoreo del paisaje
Biótico	PSM_BIO_01	Programa de seguimiento y monitoreo de la fauna terrestre
	PSM_BIO_02	Programa de seguimiento y monitoreo de la vegetación
	PSM_BIO_03	Programa de seguimiento y monitoreo de las comunidades hidrobiológicas

Medio	Código	Programa de seguimiento y monitoreo
Socioeconómico	PSM_SOC_01	Programa seguimiento y monitoreo a la atención, información y participación comunitaria
	PSM_SOC_02	Programa de seguimiento y monitoreo a la contratación de mano de obra
	PSM_SOC_03	Programa de seguimiento y monitoreo a la contratación de bienes y servicios
	PSM_SOC_04	Programa de seguimiento y monitoreo a la capacitación y educación a las comunidades
	PSM_SOC_05	Programa de seguimiento y monitoreo a la capacitación y educación ambiental a los trabajadores
	PSM_SOC_06	Programa de seguimiento y monitoreo al reasentamiento
	PSM_SOC_07	Programa de seguimiento y monitoreo al apoyo a la gestión institucional pública y privada
	PSM_SOC_08	Programa de seguimiento y monitoreo a la adquisición de predios y servidumbres
	PSM_SOC_09	Programa de monitoreo y seguimiento a la presión migratoria
	PSM_SOC_10	Programa de seguimiento y monitoreo a la afectación a terceros
	PSM_SOC_11	Programa de seguimiento y monitoreo al fomento del patrimonio cultural
	PSM_SOC_12	Programa de seguimiento y monitoreo a la promoción y prevención en salud

Fuente: Integral S.A., 2026

### 0.10.3 Plan de gestión del riesgo

El Plan de Gestión del Riesgo está estructurado en tres componentes: Conocimiento del riesgo, Reducción del riesgo y Manejo de la contingencia. En el componente de Conocimiento del riesgo se realizó la identificación y caracterización de los elementos expuestos vulnerables, las amenazas y los escenarios de riesgo asociados al proyecto. Se analizaron amenazas de origen natural, socio-natural y operacional/tecnológico, valorando su probabilidad y consecuencias sobre personas, infraestructura, componentes ambientales y operación. Como resultado, se priorizaron los escenarios de mayor criticidad, los cuales orientan la planificación de medidas de intervención y control.

El componente de Reducción del riesgo establece las medidas orientadas a intervenir los escenarios identificados. Se plantean acciones transversales aplicables a todas las amenazas, así como medidas específicas frente a amenazas de origen natural, socio-natural y operacional o tecnológico. Estas medidas se clasifican en estructurales y no estructurales, e incorporan enfoques prospectivos y correctivos, con el fin de evitar la generación de nuevos riesgos, reducir los existentes y fortalecer la resiliencia operativa del proyecto.

Finalmente, el componente de Manejo de la contingencia se subdivide en tres apartados. El Plan Estratégico define la estructura organizacional para la atención de emergencias, incluyendo responsabilidades, procesos de capacitación, simulaciones y simulacros

orientados al fortalecimiento de la preparación y respuesta. El Plan Operativo establece los niveles de emergencia, alerta y alarma, e integra los protocolos de actuación frente a los distintos escenarios, incluyendo plan de evacuación, medidas de atención inmediata y procedimientos de evaluación post-emergencia. Por su parte, el Plan Informático consolida el sistema de comunicaciones del proyecto, el directorio de emergencias internas y la articulación con entidades municipales, regionales y nacionales encargadas del apoyo en la atención de emergencias.

En conjunto, el documento proporciona una estructura integral para identificar, reducir y gestionar los riesgos del proyecto, garantizando coherencia técnica, operativa y normativa en la gestión del riesgo de desastres.

#### **0.10.4 Plan de cierre**

El Plan de Cierre del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, formulado en el marco de la Modificación de la Licencia Ambiental, establece el conjunto de acciones orientadas a prevenir, mitigar y compensar los impactos generados por la actividad minera, garantizando que el territorio intervenido alcance condiciones ambientales y sociales estables y sostenibles en el largo plazo. Este instrumento incorpora los lineamientos aprobados en la licencia ambiental vigente y contempla la actualización periódica del plan conforme a los resultados de operación y monitoreo.

El documento estructura el cierre en cinco momentos: cierre inicial, progresivo, temporal, final y actividades de poscierre. El cierre inicial define el marco conceptual, la zonificación por unidades homogéneas y los usos potenciales del suelo; el cierre progresivo permite rehabilitar áreas liberadas durante la operación; el cierre temporal establece medidas mínimas ante una eventual suspensión de actividades; el cierre final contempla el desmantelamiento definitivo de instalaciones, estabilización geomorfológica y revegetación; y el poscierre incluye programas de monitoreo y mantenimiento para asegurar la estabilidad física, química, biótica y social del área intervenida.

El Plan define objetivos claros orientados a planificar el cierre de todos los componentes del proyecto, rehabilitar las áreas intervenidas de forma compatible con los usos del suelo aledaños, establecer programas de monitoreo ambiental y social, definir criterios de actualización y estructurar un cronograma de costos asociado al cierre y poscierre. Asimismo, incorpora la identificación de restricciones de uso del suelo y la concertación con la comunidad para la definición de usos futuros, en coherencia con el ordenamiento territorial vigente.

Finalmente, el Plan contempla un programa integral de monitoreo poscierre enfocado en la estabilidad física de taludes y depósitos, la calidad del agua, la recuperación del paisaje, la revegetación y los aspectos socioeconómicos. Los resultados de estos programas serán evaluados frente a criterios de desempeño específicos, con el fin de verificar el cumplimiento de los objetivos ambientales y sociales y garantizar que el cierre sea técnicamente estable, ambientalmente seguro y socialmente responsable.

## 0.11 OTRO PLANES Y PROGRAMAS

### 0.11.1 Plan de inversión del 1%.

El documento define el plan de inversión forzosa de no menos del 1% asociado a la modificación de la licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote, precisando su ámbito geográfico de aplicación, líneas de inversión aprobadas, base de liquidación y estimación del monto a invertir, de conformidad con la normatividad ambiental vigente.

Mediante la Resolución 1514 de 2015 la ANLA aprobó transitoriamente el programa de inversión del 1% presentado en el Estudio de Impacto Ambiental, previamente acordado con CORNARE, y en el seguimiento a la licencia se han venido aprobando líneas y proyectos de inversión, aceptando liquidaciones parciales conforme al Artículo 321 de la Ley 1955 de 2019 y a los Decretos 1076 de 2015, 1900 de 2006 y 2099 de 2016.

El ámbito geográfico de la inversión corresponde a la subzona hidrográfica del río Nare (código IDEAM 2308), donde se desarrolla el proyecto, integrada por las cuencas de los ríos Nus, Nare, Negro, Samaná Norte y el embalse y río Guatapé, con un área total de 5.608,66 km<sup>2</sup>, oferta de agua superficial de 7.123,87 millones de m<sup>3</sup> y demanda de 38,55 millones de m<sup>3</sup>. Dentro de esta subzona se prioriza la cuenca del río Nus (código 2308-05 CORNARE–CORANTIOQUIA) y sus afluentes de nivel II (entre otros, quebradas El Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, El Balsal, La María y La Palestina), dado que allí se concentran las captaciones de agua del proyecto y la mayoría de sus impactos, por lo que la inversión del 1% de la modificación se orientará a la cuenca del río Nus y sus afluentes.

Las líneas y proyectos del programa de inversión forzosa de no menos del 1% para Gramalote han sido aprobados por la ANLA mediante la Resolución 1514 de 2015, el Auto 3607 de 2019 y la Resolución 535 de 2023, conforme a concertación con CORNARE formalizada en las actas FB 01 06-2250 de 2015, 112-0408-2018 de 2018 y AC-02368-2022 de 2022. Estas líneas se enmarcan en los Decretos 1900 de 2006 y 2099 de 2016, destacándose:

- Restauración, conservación y protección de la cobertura vegetal, enriquecimientos vegetales y aislamiento de áreas para facilitar la sucesión natural, mediante el proyecto de conservación y restauración de cobertura vegetal con el mecanismo BanCO2 (pago por servicios ambientales comunitarios).
- Acciones de recuperación mediante construcción de interceptores y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en municipios de categorías 4, 5 y 6, materializadas en la cofinanciación de una planta de tratamiento de aguas residuales y sistemas individuales PMAA Providencia.
- Saneamiento básico rural mediante instalación y puesta en funcionamiento de sistemas sépticos y filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA).

Para la modificación de la licencia ambiental, se propone implementar la inversión forzosa de no menos del 1% utilizando estas mismas líneas y proyectos ya aprobados y

concertados con CORNARE, dado que los cambios planteados recaen sobre obras e infraestructura y concesiones de agua aún no implementadas, previstas para las etapas previas a la operación del proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior y el Artículo 321 de la Ley 1955 de 2019 en el que se establece que la liquidación de la inversión del 1% se realiza sobre los ítems: a) adquisición de terrenos e inmuebles, b) obras civiles, c) adquisición y alquiler de maquinaria y equipo utilizados en las obras civiles y d) constitución de servidumbres, considerando costos y gastos de las etapas previas a la producción o a las modificaciones sujetas a plan de manejo ambiental. Y considerando que las obras objeto de la modificación aún no se han implementado, en la Tabla 0.17 se presenta una proyección de la base de liquidación y un estimativo de costos y gastos para dichas obras en etapa previa a producción, sin que exista aún liquidación aprobada por la autoridad ambiental.

Tabla 0.17 Valor estimado de la Inversión del 1% para la Modificación de la Licencia Ambiental

ÍTEM (Base de liquidación)		Estimativo de la Base de Liquidación (Millones-COP\$)
a) adquisición de terrenos e inmuebles, d) constitución de servidumbres.	<i>No fueron objeto de modificación. Para las obras objeto de modificación, no se requieren de nuevos predios, con respecto a los evaluados en el EIA</i>	\$ 0
b) obras civiles, c) adquisición y alquiler de maquinaria y equipo utilizado en las obras civiles	Infraestructura minera	\$ 32.190.000.000
	Planta de beneficio	\$ 231.620.000.000
	Infraestructura general del sitio	\$ 846.190.000.000
<b>Estimativo de la Base de Liquidación de la Inversión</b>		<b>\$ 1.110.000.000.000</b>
<b>Estimativo del cálculo del monto de inversión del 1% (Modificación)</b>		<b>\$11.100.000.000</b>

Fuente: Gramalote Colombia

A partir de estos valores se calcula un estimativo de la base total de liquidación de 1.110.000.000.000 COP y un estimativo del monto de inversión del 1% para la modificación de 11.100.000.000 COP.

Una vez sean implementadas las obras e infraestructura en la etapa previa a la producción y de aprobarse la modificación de la licencia, se presentará a la autoridad ambiental: la liquidación en pesos de las inversiones efectivamente realizadas, certificadas por contador o revisor fiscal, el cálculo definitivo del monto del 1%, el plan de inversión con las líneas y proyectos seleccionados, la proyección financiera y el cronograma de ejecución, cuyo inicio no superará seis meses después de la aprobación del plan, en cumplimiento del Artículo 321 de la Ley 1955 de 2019.

## 0.11.2 Plan de compensación por pérdida de la biodiversidad

Dado que no se ha materializado el impacto asociado a las obligaciones compensatorias y en aplicación del Manual de Compensaciones del Componente Biótico (Resolución 256 de 2018), el Plan de Compensación unifica metodológicamente las obligaciones por pérdida de biodiversidad, pérdida de la capacidad de uso del suelo, eliminación de cobertura vegetal leñosa y afectación de especies amenazadas, bajo un único esquema técnico. Se establece

como área objeto de compensación 996,67 ha, lo que determina un requerimiento total de 3.041,57 ha a compensar. Las áreas se seleccionan con base en alternativas previamente aprobadas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (Resolución 725 de 2022 y sus modificaciones), contemplando 14 alternativas que suman 3.936,57 ha, superficie suficiente para cubrir la obligación y mantener un margen técnico durante la fase de implementación. Las estrategias incluyen acciones de conservación, rehabilitación, enriquecimiento y recuperación ecológica mediante sistemas agroforestales y herramientas de manejo del paisaje.

## 0.12 COSTO TOTAL ESTIMADO DEL PROYECTO

Para el proyecto Gramalote se contemplan los costos que se relacionan a continuación:

### 0.12.1 Costos de capital

Los costos de capital incluyen la minería y la infraestructura relacionada, la construcción de áreas para depósito de estéril y pilas de almacenamiento de mineral, la planta de beneficio, y la infraestructura general del sitio. Se estima un costo de capital de construcción de alrededor de 2,6 billones de pesos moneda colombiana, antes de la producción comercial.

No obstante, en la siguiente tabla se presentan los costos de capital asociados a las obras objeto de esta modificación.

Tabla 0.18 Costos de capital asociados a las obras objeto de modificación

Ítem presupuestal – Obras objeto de modificación	Costos de capital (Millones-COP\$)
Infraestructura minera y relacionada	\$ 477.300.000.000,00
Planta de beneficio	\$ 950.650.984.484,00
Infraestructura general del sitio	\$ 714.699.400.000,00
<b>Total costos de capital, asociado a las obras objeto de modificación</b>	<b>\$ 2.142.650.384.484,00</b>

Fuente: Gramalote

### 0.12.2 Costos operacionales

Los costos directos de operación incluyen los costos de minería y metalurgia. Minería incluye: perforación y voladura, el cargue y transporte, los servicios auxiliares geología y costos de mantenimiento de todos los equipos mina. Metalurgia incluye todos los costos asociados a la transformación de la roca hasta el producto final: doré.

Los costos de minería (costos de equipos, proveedores, y operaciones mineras) promediarán aproximadamente COP\$42mil p./t de mineral procesado, los costos de proceso (consumibles/suministros y costos de energía, así como en mantenimiento y otras asignaciones) promediarán alrededor de COP\$30mil p./t de mineral procesado y los costos generales del sitio (administrativos, de mano de obra y suministros, costos de campamentos, servicios de tecnología de la información, transporte de personal, salud y seguridad, medio ambiente, social, seguridad, cadena de suministro, almacenes, servicios

en el sitio y costos financieros del sitio) promediarán COP\$13mil p./t de mineral procesado, para un costo total de procesamiento de mineral de COP\$85mil p./t.

### **0.13 COSTO TOTAL APROXIMADA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PMA**

La modificación de licencia ambiental solicitada no implica cambios en los costos asociados a la implementación de los Planes de Manejo Ambiental (PMA). Esto se debe a que, conforme a la evaluación de impactos actualizada y a la aplicación de los Términos de Referencia vigentes, no se identificaron nuevos impactos ni efectos adicionales que requieran la formulación de medidas de manejo que impliquen presupuestos operativos diferentes a los ya aprobadas en la licencia ambiental vigente.

En consecuencia, las medidas de manejo ambiental existentes continúan siendo suficientes y adecuadas, por lo cual no se generan requerimientos adicionales de inversión, ni ajustes en los presupuestos previamente establecidos para la ejecución del PMA.

### **0.14 CRONOGRAMA GENERAL ESTIMADO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO**

La etapa o fase de construcción y montaje se sigue estimando para ser desarrollada durante 2,5 años; la operación (explotación y beneficio) se amplía a 13 años; y el abandono, cierre y post cierre se mantiene en 7,5 años la cual se presenta en el capítulo 3 descripción del proyecto y en ANEXOS\_DESCRIPCION\_CRONOGRAMA.

A continuación, se presenta el cronograma del proyecto, de acuerdo con los cambios o modificaciones presentadas en el estudio:

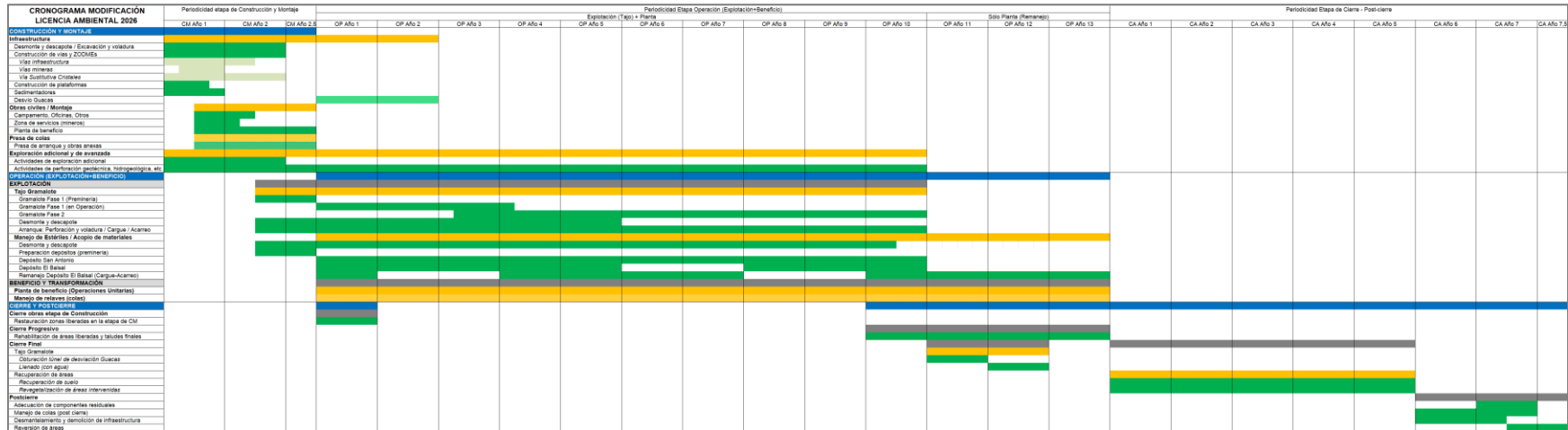


Figura 0.11 Cronograma general del Proyecto Gramalote

Fuente: Gramalote

## 0.15 CRONOGRAMA GENERAL ESTIMADO DE EJECUCIÓN DEL PMA CONCORDANTE CON LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El cronograma para desarrollar el Programa de Manejo Ambiental (PMA) se presenta a continuación, que sincroniza las medidas de mitigación, monitoreo y restauración con la etapa o fase de construcción y montaje se sigue estimando para ser desarrollada durante 2,5 años; la operación (explotación y beneficio) se amplía a 13 años; y el abandono, cierre y post cierre se mantiene en 7,5 años la cual se presenta en el capítulo 3 descripción del proyecto y en ANEXOS\_DESCRIPCION\_CRONOGRAMA.

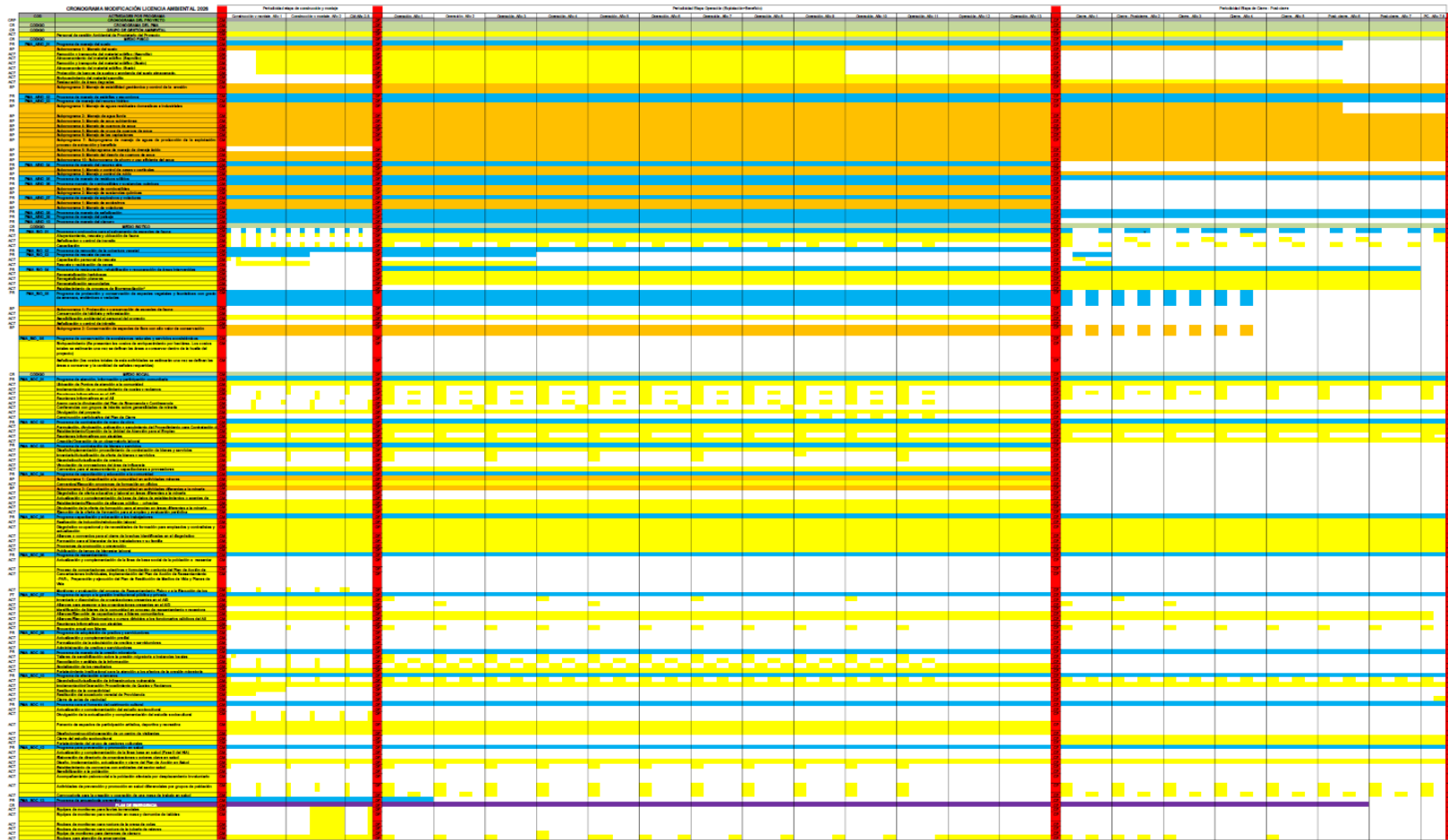


Figura 0.12 Cronograma del PMA

Fuente: Gramalote

## 0.16 ACTIVIDADES DE LA FASE DE DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO

La fase de desmantelamiento y abandono del proyecto incluye actividades dirigidas a la desvinculación laboral y comercial, aislamiento de áreas, remoción de infraestructura, desconexión de servicios, manejo de explosivos y residuos, así como la estabilización geotécnica para habilitar usos posteriores como un parque ecológico. Entre las cuales se destacan:

- **Actividades Sociales:** la desvinculación de mano de obra se notifica con 6 meses de antelación a comunidades y autoridades, detallando perfiles, mecanismos de reducción progresiva y beneficios sociales, complementada con capacitaciones en oficios vía convenios con SENA e instituciones superiores para inserción laboral post-proyecto.

La desvinculación de proveedores se realiza de forma escalonada cerca del cierre, promoviendo continuidad productiva mediante jornadas de emprendimiento, identificación de proveedores locales y capacitaciones en formulación de proyectos, formalización, asesoría bancaria y contable.

- **Actividades de Aislamiento y Seguridad:** el aislamiento de núcleos poblados se mantiene hasta el poscierre mediante señalización con postes de madera, mallas de polipropileno en colombinas y pasos peatonales transitables, asegurando mantenimiento continuo de elementos para prevenir accesos no autorizados.
- **Actividades Técnicas y Operativas:** en las cuales se desarrolla 1) desmantelamiento de infraestructura implica remoción y traslado de instalaciones y equipos fuera del área para venta o reutilización en otros proyectos, 2) la desenergización de instalaciones retira cables, generadores y transformadores de la subestación, preservando suministros mínimos para cierre y usos futuros; la planta de generación (44 MW, 4 motores a gas) se desmonta post-clausura de gas, 3) la desconexión de agua corta suministros y desmantela tuberías por empresa autorizada como residuos no peligrosos, reteniendo conexiones esenciales para cierre y posuso, 4) la disposición de explosivos usa stocks existentes previamente, devolviendo remanentes a Indumil o destruyéndolos según normativa. Y 5) la demolición abarca edificios, equipos e infraestructura no requerida post-proyecto una vez finalizada explotación y procesamiento.
- **Actividades Ambientales:** el manejo de residuos sólidos y líquidos traslada desechos, restos de estructuras a sitios autorizados conforme al programa de manejo; tanques y tuberías se caracterizan y neutralizan pre-desmantelamiento, removiendo suelos contaminados por hidrocarburos hasta 10 cm de profundidad para rehabilitación. La reconformación y estabilización de taludes en botaderos (estériles y baja ley) controla erosión hídrica mediante obras hidráulicas (tendido, bermas de suelo/roca, trincheras, terracedo) y revegetación con especies nativas herbáceas (preferentemente leguminosas) para infiltración, reciclaje de nutrientes y reestructuración de suelos.

En la Figura 0.13, se presenta la visión postcierre del estado final del territorio, con base en los usos potenciales identificados.

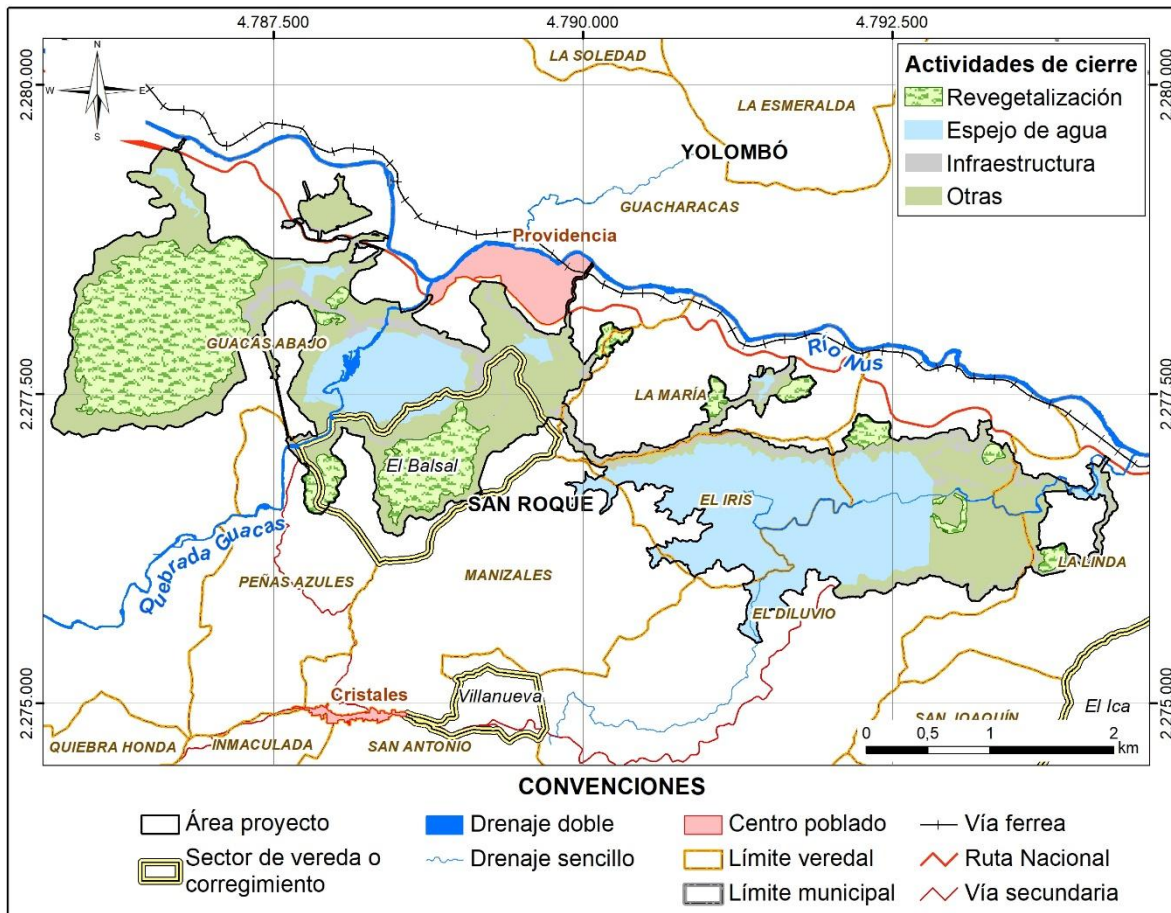


Figura 0.13 Visión postcierre del estado final del territorio  
Fuente: Integral S.A., 2025